Como a ciência do solo está contribuindo para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável na América Latina e Europa?

**Everaldo Zonta, Marcos Gervasio Pereira,
Maura Santos Reis de Andrade da Silva &
Priscila Silva Matos
(ORGANIZADORES)**

Ano 2024

Realização:

Apoio:

Como a ciência do solo está contribuindo para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável na América Latina e Europa?

**Everaldo Zonta, Marcos Gervasio Pereira,
Maura Santos Reis de Andrade da Silva &
Priscila Silva Matos
(ORGANIZADORES)**

Ano 2024

Realização:

Apoio:

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

II Simpósio Íbero Americano de Ciências do Solo:

“Como a ciência do solo está contribuindo para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável na América Latina e Europa?”

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Everaldo Zonta
Marcos Gervasio Pereira
Maura Santos Reis de Andrade da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S456 II Simpósio Íbero Americano de Ciências do Solo: “Como a ciência do solo está contribuindo para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável na América Latina e Europa?” / Organizadores Everaldo Zonta, Marcos Gervasio Pereira, Maura Santos Reis de Andrade da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-2664-6
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.646241306

1. Solos. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. América Latina. 4. Europa. I. Zonta, Everaldo (Organizador). II. Pereira, Marcos Gervasio (Organizador). III. Silva, Maura Santos Reis de Andrade da (Organizadora). IV. Título.

CDD 631.45

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

APRESENTAÇÃO

O II Simpósio Íbero-Americano, realizado na campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, permitiu a troca de experiências e conhecimentos adquiridos nos continentes, Latino-Americano e Europeu, sobre como as pesquisas em ciência do solo estão contribuindo para atingir os ODS da agenda de 2030. Neste sentido, os estudos sobre intensificação da agricultura sustentável, segurança do solo, “*climate smart agriculture*”, combate à desertificação e a redução de biodiversidade do solo, práticas e manejo de conservação do solo e da água, estratégias de manejo para resistir a extremos climáticos, dentre outros; são variáveis que compelem os pesquisadores ao intercâmbio de experiências, publicações e discussões dos estudos realizados em locais e condições diferentes, em prol do desenvolvimento sustentável. Espera-se com este evento, fortalecer e/ou criar vínculos e parcerias entre as instituições envolvidas para desenvolver projetos de pesquisa voltados a sustentabilidade em todos os países participantes..

A primeira versão do evento foi realizada em 2021, sendo que este tem sido realizado bianualmente pelo Departamento de Solos da UFRRJ, com apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da mesma Instituição. Em cada evento são abordados diferentes temas, através de palestras ministradas por pesquisadores e professores dos diferentes países além da apresentação de trabalhos científicos desenvolvidos pelos alunos de graduação e pós-graduação da UFRRJ e de outras instituições.

O evento contribui para o fortalecimento das linhas de pesquisas vigentes do Programa de Pós-Graduação e criação de novas. O evento foi realizado no período de 12 a 15 de dezembro de 2023 com o tema: “Como a ciência do solo está contribuindo para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável na América latina e Europa?”. Esperamos que o Simpósio mantenha a sua continuidade contribuindo dessa forma, para a geração e resgate de conhecimentos e troca de experiências entre pesquisadores e instituições brasileiras e estrangeiras, de modo a fortalecer os sistemas sustentáveis de produção.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DE CHERNOSSOLOS DO AMBIENTE DE MAR DE MORROS EM PINHEIRAL, RJ

Data de aceite: 01/04/2024

Alice Maria Goulart Ribeiro
Estudante de Graduação em Engenharia Florestal (UFRRJ)

Amanda Sales Alves
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Ciência do Solo (UFRRJ)

Matheus da Silva Carvalho
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Luciele Hilda da Silva Miranda
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Ciência do Solo (UFRRJ)

Lucia Helena Cunha dos Anjos
Professora do Departamento de Ciência do solo (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos morfológicos de Chernossolos localizados no município de Pinheiral, RJ. Chernossolos são caracterizados por apresentarem um horizonte A chernozêmico, de constituição mineral, com alta saturação por bases. No Brasil, essa classe de solos ocupa apenas 3% do território, concentrando-se majoritariamente na região sul do país. São solos com alta fertilidade natural e capacidade de estocar carbono, porém são muito sensíveis às ações antrópicas. Para avaliar suas características morfológicas foram coletados quatro perfis de Chernossolos em diferentes pontos da paisagem, no município de Pinheiral (RJ). Em cada área da coleta foi feita a descrição do perfil, coleta de amostras, e a caracterização dos atributos morfológicos dos horizontes de cada perfil, sendo avaliados a profundidade dos horizontes, a cor do solo, a estrutura do solo e a presença de cerosidade. Após a análise dos atributos morfológicos, os perfis foram classificados como Chernossolo Argilúvico (P1 e P2), Chernossolo Háplico (P3) e Chernossolo Ebânico (P4). Os perfis apresentaram características típicas do horizonte superficial A chernozêmico, como cores escuras e estrutura com grau de desenvolvimento moderado e forte. A cerosidade e a cor foram os atributos determinantes para a classificação dos perfis no segundo nível categórico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de solos.

PALAVRAS-CHAVE: a chernozêmico, cerosidade, cor, estrutura do solo.

MORPHOLOGICAL ATTRIBUTES OF CHERNOSSOLOS FROM THE ENVIRONMENT OF MAR DE MORROS IN PINHEIRAL, RJ

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the morphological attributes of Chernossolos in the municipality of Pinheiral, RJ. Chernossolos are mineral soils characterized by a chernozemic A horizon with high base saturation and their class is subdivided into Argilúvico, Ebânico, Rêndzico and Háplico. They are known as “black soils” and are most notable in Russia, Kazakhstan and China. In Brazil, they occupy only 3% of the country’s territory, mostly concentrated in the south. These are soils with high natural fertility and the capacity to store carbon, but they are very sensitive to anthropogenic actions. To assess their characteristics, four Chernossolos profiles were collected from road cuts at different points in the landscape. In each collection area, the profile was cleaned, described and the morphological attributes of the horizons of each profile were characterized. The depth of the horizons, soil color, soil structure and the presence of cerosity were assessed. After analyzing the morphological attributes, the profiles were classified as Chernossolo Argilúvico (P1 and P2), Chernossolo Háplico (P3) and Chernossolo Ebânico (P4). The profiles evaluated showed characteristics typical of the A chernozêmico surface horizon, such as dark colors and structure with a moderate or strong degree of development. Cerosity and color were the determining attributes for classifying the profiles in the second categorical level according to the Brazilian Soil Classification System.
KEYWORDS: a chernozemic, cerosity, color, soil structure.

INTRODUÇÃO

Os Chernossolos são solos formados em diferentes condições climáticas e diferentes tipos de materiais de origem. São caracterizados por apresentarem um horizonte A chernozêmico, de constituição mineral, relativamente espesso, de cor escura, com alta saturação por bases e estrutura suficientemente desenvolvida, podendo ser seguido de um horizonte B textural ou incipiente (argila de alta atividade, capacidade de troca catiônica maior ou igual a 27 $cmol_c$ kg^{-1} argila), horizonte C carbonático, cálcico ou petrocálcico, ou de rocha quando este apresentar elevado teor de carbonato de cálcio (Santos et al., 2018). A classe dos Chernossolos é subdividida em Argilúvicos, Ebânicos, Rêndzicos e Háplicos.

Quanto à sua abrangência, os Chernossolos possuem uma distribuição geográfica considerável, mas são mais notáveis na Eurásia, particularmente na Rússia, Ucrânia, Cazaquistão e China, e são conhecidos como “solos negros” (FAO, 2022a). No Brasil, os Chernossolos têm uma abrangência de 3% do território nacional, sendo encontrados principalmente na Região Sul do país e em menor escala em outras regiões (Oliveira, 2022).

De acordo com a FAO (2022a, 2022b) um terço dos solos negros do mundo estão cobertos com culturas, sendo essenciais para garantir a segurança alimentar e a economia

global. Além de serem solos produtivos devido à alta fertilidade natural e aos elevados teores de matéria orgânica associados, estima-se que os Chernossolos são responsáveis por estocar 8,2% de carbono orgânico do solo e o potencial de sequestrar até 10% desse carbono do mundo, de forma heterogênea, podendo contribuir significativamente para às mudanças climáticas.

No entanto, existe uma preocupação econômica e ambiental em relação à essa classe de solos, pois os Chernossolos estão muito suscetíveis a processos de degradação como a erosão, compactação, contaminação, salinização, acidificação e a perda de matéria orgânica. Assim, tornam-se necessárias à implementação de práticas conservacionistas e conscientização para à sua proteção (FAO, 2022a).

A partir do exposto, esse trabalho teve como objetivo avaliar os atributos morfológicos de Chernossolos localizados no município de Pinheiral, Rio de Janeiro, contribuindo para a identificação de atributos específicos para essa classe de solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados quatro perfis de Chernossolos (P1, P2, P3, P4) no município de Pinheiral, situado no estado do Rio de Janeiro, localizado entre as latitudes 22°29’03” e 22°35`27``S e entre as longitudes 43°54’49”W e 44°04’05”W (Figura 1). A coleta dos perfis foi realizada em cortes de estrada em diferentes pontos da paisagem. Em cada área da coleta foi feita a descrição do perfil e a caracterização dos atributos morfológicos dos horizontes de cada perfil, de acordo com Santos et al. (2018). Foram avaliados a espessura dos horizontes, a cor do solo, a estrutura do solo e a presença de cerosidade.

Após a análise dos atributos morfológicos, os perfis foram classificados até o segundo nível categórico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

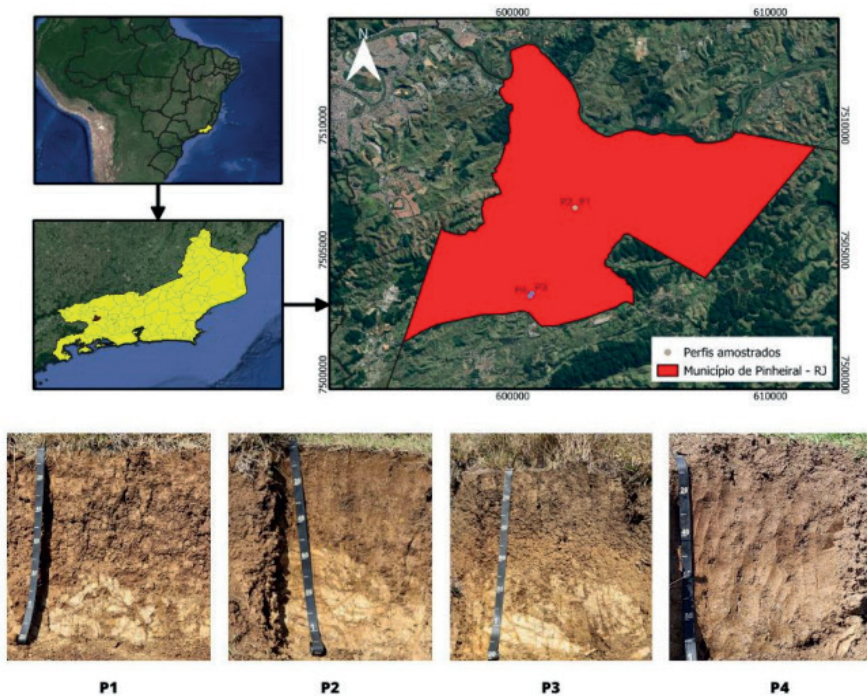



Figura 1: Localização dos perfis coletados no município de Pinheiral – RJ.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perfis foram classificados como Chernossolo Argilúvico (P1 e P2), Chernossolo Háplico (P3) e Chernossolo Ebânico (P4) e seus respectivos atributos morfológicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Atributos morfológicos dos perfis de Chernossolos coletados em Pinheiral – Rio de Janeiro.

Hor[(1)]	**Prof. (m)**	**Consistência**		**Plasticidade**	**Pegajosidade**	**Estrutura do Solo**[(2)]	**Cerosidade** [(3)]
		Seca	Úmida				
				Chernossolo Argilúvico			
A	0,00 - 0,15	m.d	f	n.p	l.p	f; p e m, ba	
AB	0,15 - 0,25	m.d	m.f	n.p	l.p	f; m e g; ba	
BA	0,25 - 0,38	m.d	m.f	n.p	l.p	f; m; pr e ba	
Bt	0,38 -0,72	m.d	m.f	l.p	l.p	f; g e mg; pr e ba	m e a
BC	0,72-0,87	d	f	l.p	l.p	f; m; pr e ba	
C	0,87-1,17+	l.d	fr	n.p	l.p	maciça	
				Chernossolo Argilúvico			
A	0,00 - 0,21	m.d	f	p	l.p	f; p e m; ba	
AB	0,21 - 0,34	m.d	f	p	l.p	f; p, m e g; ba	
Bt	0,34 - 0,54	m.d	f	p	p	f; m e g; pr e ba	m e a
C	0,54- 1,00+	m.d	fr	n.p	n.p	maciça	
				Chernossolo Háplico			
A	0,00 - 0,11	m.d	m.f	n.p	l.p	f; p e m; ba	
AB	0,11 - 0,29	m.d	m.f	n.p	l.p	f; p e m; ba	
BA	0,29 - 0,48	m.d	m.f	p	l.p	f; p, m e g; ba	
Bi	0,48 - 0,71	m.d	m.f	p	p	f; m e g; ba	
BC	0,71 - 0,87	m.d	m.f	p	l.p	f; m e g; ba	
C	0,87 - 1,12+	m.d	m.f	p	l.p	maciça	
				Chernossolo Ebânico			
A1	0,00 - 0,10	l.d	fr	n.p	l.p	m; p; ba e bsa	
A2	0,10 - 0,23	l.d	fr	n.p	l.p	m; p e m; ba e bsa	
AB	0,23 - 0,33	d	fr	p	l.p	m; p e m; ba e bsa	
BA	0,33 - 0,52	d	fr	p	p	f; p e m; ba e bsa	
Bi1	0,52 - 0,74	d	fr	p	l.p	f; p, m e g; ba e bsa	
Bi2	0,74 - 1,00+	d	fr	p	l.p	f; p, m, g, ba e bsa	

(1) Hor: horizonte; (2) Grau (f = forte; m = moderada); tamanho (p = pequena; m = médio; g = grande; mg = muito grande); Tipo (ba = blocos angulares; bsa = blocos subangulares; pr = primática); (3) Cerosidade (Grau de desenvolvimento: m – moderada; Quantidade: a = abundante).

Todos os perfis apresentaram cores escuras no horizonte superficial, sendo um dos critérios para a identificação do horizonte superficial A chernozêmico (Figura 2). Além disso, nos horizontes dos perfis foi observado um grau de desenvolvimento da estrutura entre forte a moderado e de tamanhos variados com macroestruturas dos tipos: granular, grão simples, blocos angulares e prismáticos (OLIVEIRA, 2022).

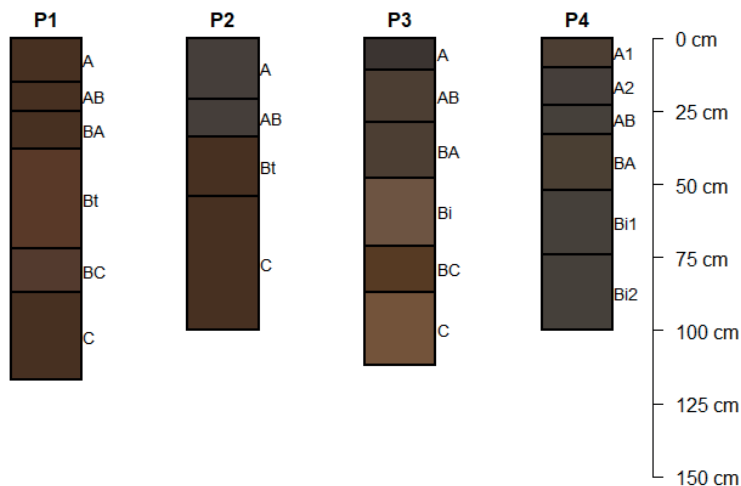



Figura 2: Representação da cor do solo nos perfis.

Nos perfis 1 e 2 foi observada cerosidade moderada e abundante no horizonte B, identificada pelo revestimento das unidades estruturais conferindo aspecto lustroso no horizonte subsuperficial. Além disso, foi observado estrutura com grau de desenvolvimento forte, tipo blocos angulares e estruturas prismáticas de tamanho grande e muito grande. No perfil P1 foi verificado um maior número de horizontes transicionais em comparação a P2.

No perfil P3 verificou-se a presença de cores brunadas, blocos angulares e não tendo sido observada a presença de cerosidade ou estruturas prismáticas nos horizontes subsuperficiais. No perfil P4, as cores no horizonte diagnóstico subsuperficial foram mais escuras com matiz 10YR e valor <4 e croma <3, indicando um caráter ebânico (Santos et al., 2013) do perfil. Quanto a estrutura, esta apresentou grau de desenvolvimento forte, blocos angulares e subangulares de tamanho variando de pequeno a grande.

Os perfis apresentaram pouca variação em relação a consistência, sendo P1 o que mais se diferiu dos demais por apresentar horizontes nos quais a consistência variou de não plástico a ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, enquanto nos P2, P3 e P4 esta variação é de ligeiramente pegajosos a pegajosos e plásticos.

CONCLUSÕES

Os perfis apresentaram características típicas do horizonte superficial A chernozêmico, como cores escuras e estrutura com grau de desenvolvimento variando de moderado e forte.

Nos perfis 1 e 2 foi verificada estrutura prismática no horizonte subsuperficial, padrão não observado nos perfis 3 e 4.

No perfil 4 verificou-se a dominância de cores escuras no horizonte subsuperficial, o que confere ao solo um caráter ebânico.

A cerosidade e a cor foram os atributos determinantes para a classificação dos perfis no segundo nível categórico.

AGRADECIMENTOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAO. Global map of black soils. Rome. 2022a. Disponível em: https://www.fao.org/3/cc0236en/cc0236en.pdf. Acesso em: 05 de nov. de 2023.

FAO. Global status of black soils. Rome. 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc3124en>. Acesso em: 05 de nov. de 2023.

OLIVEIRA, Deysiele Viana de. **Mapeamento e caracterização de Chernossolos no município de Timon-Ma**. 2022. 79 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGGEO)) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

SANTOS, H.G. dos., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C. DOS, OLIVEIRA, V.A. DE LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A. DE, ARAUJO FILHO, J.C. DE, OLIVEIRA, J.B. DE, CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**, 5ed. Embrapa, Brasília, DF, 2018.

MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO DO SOLO DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL NA BAIXADA FLUMINENSE, RJ

Data de aceite: 01/04/2024

Ana Beatriz Gonçalves Vasques da Silva
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Cyndi dos Santos Ferreira
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia Ciência do Solo (UFRRJ)

Ingryd Cardoso Estaky Cabral
Estudante de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (UFRRJ)

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia Ciência do Solo (UFRRJ)

Rodrigo Camara de Souza
Pós doutorando no Programa de Pós-graduação em Agronomia Ciência do Solo (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da matéria orgânica na formação de agregados de um sistema agroflorestal (SAF) no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro. O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde foram selecionadas uma área de SAF e uma área de floresta secundária, que foi tomada como referência. As amostras de solo foram coletadas na camada superficial (0,00-0,05 m) para determinar o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e realizar o fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F) e ao teste de correlação de Pearson, a 5% de probabilidade, pelo programa Statistica. As áreas não se diferenciaram com relação aos valores de DMP e DMG, o que indica que os agregados do solo nas duas áreas são bastante estáveis. Com relação ao fracionamento físico granulométrico, na área de SAF foram observados os menores valores de carbono (C), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico total (COT) e carbono associado à fração mineral (COam), devido à textura mais arenosa da camada superficial, que favorece que o processo de decomposição da matéria orgânica do solo seja mais acelerado nesta área, em comparação ao fragmento florestal.

PALAVRAS-CHAVE: carbono orgânico, estabilidade de agregados, fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo.

ORGANIC MATTER AND SOIL AGGREGATION IN AN AGROFORESTRY SYSTEM IN BAIXADA FLUMINENSE, RJ

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the influence of organic matter on the formation of aggregates in an agroforestry system (SAF) in the municipality of Seropédica, state of Rio de Janeiro. The study was carried out in the experimental area of the Federal Rural University of Rio de Janeiro, where an SAF area and a secondary forest area were selected, which were taken as a reference. Soil samples were collected in the surface layer (0.00-0.05 m) to determine the weighted mean diameter (DMP), geometric mean diameter (GMD) and perform the physical granulometric fractionation of organic matter. The data obtained were subjected to analysis of variance (F test) and Pearson's correlation test, at 5% probability, using the Statistica program. The areas did not differ in relation to DMP and DMG values, which indicates that the soil aggregates in the two areas are quite stable. Regarding the physical particle size fractionation, in the SAF area the lowest values of carbon (C), particulate organic carbon (COp), total organic carbon (COT) and carbon associated with the mineral fraction (COam) were observed, due to the more sandy texture of the surface layer, which favors the decomposition process of soil organic matter to be more accelerated in this area, compared to the forest fragment.
KEYWORDS: aggregate stability, organic carbon, particle size fractionation of soil organic matter.

INTRODUÇÃO

A estrutura do solo pode ser definida como o arranjo das partículas e do espaço poroso que compreende a forma, o tamanho e a organização dos agregados (LIMA; KAISER, 2023). As partículas sólidas que formam os agregados incluem areia, argila, silte e matéria orgânica. Portanto, sua formação é resultado da interação entre minerais, cátions polivalentes, matéria orgânica, microrganismos, raízes de plantas vivas e fragmentos de vegetais e de microrganismos (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A agregação do solo é função do teor e formas do carbono orgânico do solo (CAMPOS et al., 2016). Deste modo, o tipo de manejo do solo adotado influencia na forma e no estado de agregação (CASTRO FILHO et al., 1998), por alterar a dinâmica da matéria orgânica, a atividade dos microrganismos e o desenvolvimento das raízes das plantas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

Com isso, manejos mais conservacionistas tendem a melhorar a estrutura, visto que o baixo revolvimento no preparo do solo diminui a ruptura dos agregados e estimula a maior atividade biológica (CASTRO FILHO et al.,1998). Além disto, o menor revolvimento do solo tende a acumular matéria orgânica, que é o principal agente cimentante, porque protege a integridade física da matéria orgânica no interior dos agregados (LOSS et al., 2015) e

aumentar a infiltração de água, o que concorre para diminuir as perdas de solo por erosão hídrica (CASTRO FILHO et al.,1998).

Esse trabalho tem como objetivo avaliar a influência da matéria orgânica na formação de agregados em um sistema agroflorestal no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo se localiza no município de Seropédica, RJ. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, ou seja, quente e úmido sem inverno pronunciado, com estação chuvosa no verão e estação seca não muito rigorosa no inverno (ALVARES et al., 2013). Para o estudo, avaliou-se a influência da matéria orgânica na agregação do solo em um sistema agroflorestal (SAF) em comparação a um fragmento de floresta estacional semidecidual, que foi tomado como referência por apresentar maior riqueza de espécies vegetais, não estar sendo submetido a ações antrópicas e, portanto, apresentar maior equilíbrio na ciclagem de nutrientes (CASTRO; HERNANI, 2015). Ambas as áreas estão espacialmente próximas entre si, localizadas em uma topossequência, com 5% de declive e aproximadamente 500 m de comprimento, no campo experimental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2001).

Para a análise de estabilidade dos agregados, foram coletadas cinco amostras indeformadas (repetições) na camada superficial (0,00-0,05 m) que foram ensacadas de modo que sua estrutura original não fosse alterada. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar e fragmentadas manualmente, observando-se os pontos de fraqueza, e passadas em peneiras de 8 mm e 4 mm de malha, utilizando-se a fração que ficou retida na peneira de 4 mm. A avaliação da estabilidade foi feita a partir do método via úmida (YODER, 1936), no qual foram pesados 25g de cada amostra e transferidos para um conjunto de peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm de diâmetro e dispostos no aparelho de oscilação vertical. A seguir, o material foi submetido à agitação vertical, durante 15 minutos. Posteriormente, o conjunto de peneiras foi retirado do aparelho e depositado sobre bancada, onde os agregados retidos em cada peneira foram transferidos separadamente para placa de Petri previamente identificada e pesada.

Posteriormente, as placas de Petri com os agregados foram colocadas em estufa, para secagem do material à 105°C, por 24 horas. Na sequência, as placas foram colocadas dentro de um dessecador, para que ocorresse o resfriamento das placas e posteriormente foram pesadas. Os valores obtidos da massa seca dos agregados foram usados para cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP) e do diâmetro médio geográfico (DMG), através das equações propostas por Castro Filho et al. (1998), em que $DMP = \Sigma (xi . wi)$, em que xi = diâmetro médio de cada classe, expresso em mm; wi = proporção de agregados em cada classe/peneira, em %, e $DMG = (\exp \Sigma (wp . \text{Log } xi)) / (\Sigma wi)$, em que wp = peso

dos agregados de cada classe (g); xi = diâmetro médio das classes; wi = proporção de cada classe em relação ao total.

O fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica foi realizado para avaliar a influência da matéria orgânica do solo (MOS) na formação e estabilização dos agregados. Em cada área, foram coletadas cinco amostras compostas (repetições) de solo superficial (0.00-0.05 m), cada uma delas obtida pela reunião de três amostras simples, que foram inseridas em sacos plásticos previamente identificados. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneiras de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar, para a determinação do carbono orgânico total (COT) e realização do fracionamento granulométrico da matéria orgânica. O COT foi determinado segundo Yeomans;Bremner (1988) através do método de oxidação por via úmida. O fracionamento granulométrico foi determinado segundo Cambardella;Elliott (1992), onde adicionou-se 30 mL de solução de hexametafosfato de sódio (5 g L^{-1}) a 10 g de amostra de solo, com posterior homogeneização por 15 horas, em agitador horizontal. Após isto, o peneiramento úmido foi realizado em peneira de 0,053 mm de malha.

O material retido na peneira consistiu na fração em que foi determinado o carbono orgânico particulado (COp), material que apresenta tamanho de areia e, por diferença em relação ao COT, foi determinado o carbono orgânico associado às frações minerais do solo (COam), correspondente a silte e argila (KUNDE et al., 2016). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F), para identificar possíveis diferenças entre as áreas, e ao teste de correlação de Pearson, para mensurar o grau de relacionamento entre dois pares de variáveis. Essas análises estatísticas foram realizadas com o auxílio da versão 14.0.0.15 do programa Statistica, e considerou-se o nível de significância de $P < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram verificadas diferenças significativas entre as áreas, quanto aos resultados de DMP e DMG (Tabela 1). Tanto para a área de SAF quanto para a área de floresta secundária, 70 % dos agregados ficaram retidos na classe de peneiras de 8-2 mm de malha (Figura 1). Este resultado indica uma grande estabilidade dos agregados, que pode ser decorrente da elevada e constante adição de resíduos vegetais em ambas as áreas (LOSS et al., 2015). A adição de materiais vegetais em diferentes estágios de decomposição contribui para a formação de agregados bastante estáveis, em água (CARVALHO et al., 2004).

Tabela 1: Valores de diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geográfico (DMG), carbono (C), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico total (COT) e carbono associado às partículas minerais do solo (COam), na camada superficial (0.00-0.05 m), nas áreas de Sistema agroflorestal (SAF) e Floresta, em Seropédica, RJ.

Área	DMP	DMG	COp	COT	COam
	mm		g kg^{-1}		
SAF	3,85 A	2,36 A	4.84 B	27.59 B	22.75 B
Floresta	3,70 A	2,65 A	29.13 A	68.52 A	39.39 A

Valores médios seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste F de ANOVA (P < 0,05).

Quanto ao fracionamento granulométrico da matéria orgânica, foram verificadas diferenças significativas entre as áreas estudadas. Os valores de COT, COp e COam foram maiores no solo na área de floresta (Tabela 1).

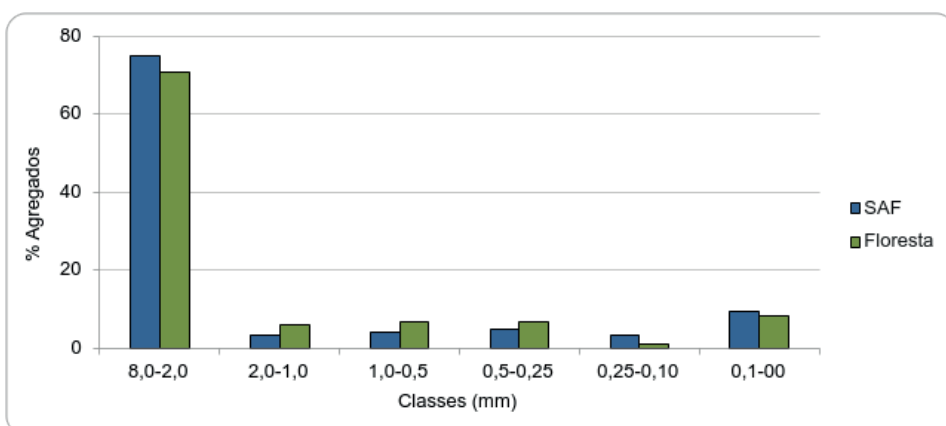



Figura 1: Distribuição de agregados em classes, no camada superficial (0.00-0.05 m), nas áreas de Sistema agroflorestal (SAF) e floresta, em Seropédica, RJ.

Este padrão pode ser explicado pela formação de complexos organo-minerais estáveis, decorrente da diminuição da taxa de decomposição da matéria orgânica influenciada pela textura mais argilosa e condições de má drenagem do solo, na área de floresta. Por outro lado, na área de SAF verifica-se uma textura mais arenosa e ausência de impedimento da drenagem, que aceleram a decomposição da MOS e se reflete no menor acúmulo de carbono no solo, com a consequente menor formação de compostos organo-minerais estáveis.

Não foram verificadas correlações significativas entre o teor de carbono e os valores de DMP e DMG. No entanto, constatou-se que o aumento no teor de COT se associou ao aumento nos valores de COP e Coam, enquanto o aumento no valor de DMP foi acompanhado pelo aumento no valor de DMG.

CONCLUSÕES

Não foi verificada a influência da matéria orgânica na formação de agregados na camada superficial, nas áreas estudadas. No entanto, a capacidade de acumular matéria orgânica foi menor na área de SAF em função da textura arenosa e ausência de impedimento da drenagem, que influenciou menores teores de COT, COp e COam.

AGRADECIMENTOS

À FAPERJ, pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CAMPOS, M.C.C. et al. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no Sul da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 339-349, 2016.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CASTRO, S.S.; HERNANI, L.C. (Eds.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília: Embrapa, 2015.

KUNDE, R.J. et al. Frações físicas da matéria orgânica em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1520-1528, 2016.

LIMA, C.L.R; KAISER, D.R. **Estrutura e agregação do solo.** Santa Maria: Pallotti, 2023. p. 71-102.

LOSS, A. et al. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

SILVA, M.B., ANJOS, L.H.C., PEREIRA, M.G., NASCIMENTO, R.A.M. Estudo de toposseqüência da Baixada Litorânea Fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 965-976, 2001.

VEZZANI, F.M; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determimation of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 467-1476, 1988.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936.

CAPÍTULO 3

REFLEXOS AMBIENTAIS DA PERDA DO SOLO POR EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM (SP)

Data de aceite: 01/04/2024

Vanessa Cézar Simonetti
Doutora em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

Anderson Trindade de Moura
Estudante de graduação em Engenharia Ambiental (UNESP-ICTS)

Alessandro Xavier da Silva Júnior
Estudante de graduação em Engenharia Ambiental (UNESP-ICTS)

Arthur Pereira dos Santos
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

Liliane Moreira Nery
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

Darllan Collins da Cunha e Silva
Professor do Departamento de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

Resumo: A análise da erosão hídrica na bacia do Pirajibu-Mirim revela heterogeneidade nos atributos do solo entre sub-bacias. Destaca-se a Sub-Bacia 1, maior e mais urbanizada, com menores teores de matéria orgânica. Perdas de solo, principalmente nas categorias leve e moderada, alcançam uma média de 5,92 toneladas por hectare ao ano na bacia. O estudo enfatiza o impacto positivo da cobertura vegetal na redução da erosão, evidenciando menores perdas de solo em sub-bacias mais arborizadas. A análise espacial dos atributos do solo e das perdas por erosão orienta práticas conservacionistas, enquanto o geoprocessamento é essencial para uma gestão eficaz, contribuindo para a saúde pública e a sustentabilidade ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: análise espacial, EUPS, geoprocessamento, monitoramento ambiental.

IMPACTS OF SOIL DEPLETION FROM WATER EROSION IN THE PIRAJIBU-MIRIM RIVER WATERSHED (SÃO PAULO)

ABSTRACT: The analysis of water erosion in the Pirajibu-Mirim basin reveals heterogeneity in soil attributes among sub-basins. Sub-Basin 1 stands out as the largest and most urbanized, with lower organic matter content. Soil losses, particularly in the

Light and Moderate categories, average 5.92 tons per hectare per year in the basin. The study emphasizes the positive impact of vegetation cover on erosion reduction, highlighting lower soil losses in more forested sub-basins. Spatial analysis of soil attributes and erosion losses guides conservation practices, while geoprocessing is essential for effective management, contributing to public health and environmental sustainability.
KEYWORDS: environmental monitoring, geoprocessing, spatial analysis, universal soil loss equation.

INTRODUÇÃO

O solo desempenha um papel fundamental na vida humana e na biodiversidade, armazenando elementos essenciais (FAO, 2017). A falta de manejo adequado pode prejudicar a produtividade do solo, enquanto o excesso de fertilizantes químicos pode agravar problemas ecológicos e climáticos (SILVA et al., 2020; TIAN et al., 2012; FAO, 2017). A erosão hídrica global causa a perda anual de bilhões de toneladas de solo (WOLKA et al., 2021; BORRELLI et al., 2017). Essa erosão carrega nutrientes e sedimentos para os corpos d'água, impactando a saúde e o meio ambiente (SILVA et al., 2018; CUNHA et al., 2016).

A equação universal de perda de solo (EUPS) tem sido amplamente usada para estimar a perda de solo, aplicada em todo o mundo (VATANDAŞLAR; YAVUZ, 2017; DAS et al., 2018). Estudos destacam a importância de fatores como topografia e uso da terra na erosão do solo (DAS et al., 2018). O geoprocessamento, especialmente em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem desempenhado um papel vital no diagnóstico e monitoramento ambiental (SIMONETTI; SILVA; ROSA, 2019).

No entanto, pesquisas sobre a perda do solo e seus impactos nas bacias hidrográficas ainda estão em estágios iniciais. O presente estudo visa estimar perdas de solo devido à erosão hídrica, identificando sub-bacias críticas para o transporte de partículas de solo em cursos de água.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada em Sorocaba, São Paulo, abrangendo 450.382 km² e uma população estimada em 679.378 habitantes (IBGE, 2019). Sorocaba faz parte da Região Metropolitana de Sorocaba (RMS), conhecida por sua atividade econômica voltada e produção industrial avançada (EMPLASA, 2019). A bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim, com 55,35 km², é uma fonte vital de água, incluindo o represado Ferraz, que fornece 10% da coleta de água do município, com outorga para 900 m³/h durante 24 horas (SAAE, 2016).

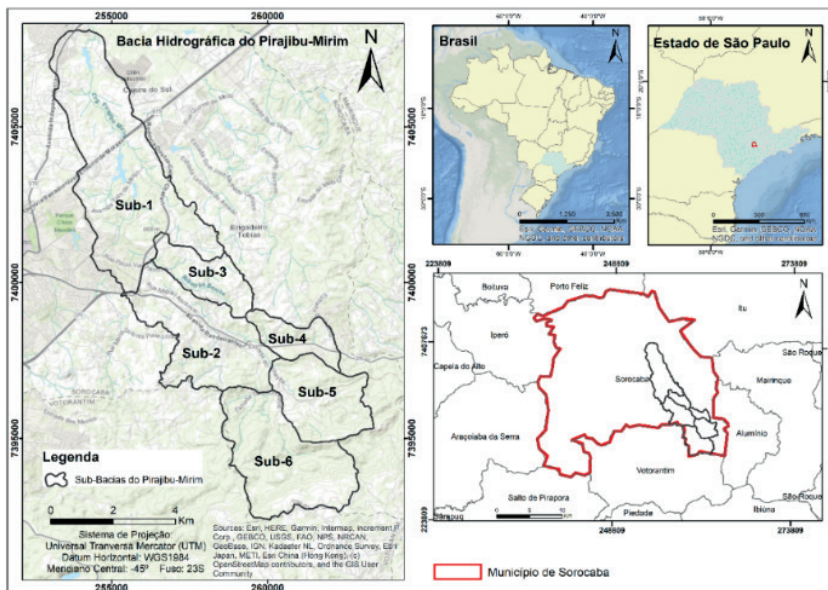



Figura 1: Localização da área de estudo.

Equação Universal da Perda de Solos (EUPS)

A EUPS consiste em uma equação para estimar a perda média anual de solos por erosão hídrica, sendo proposta por Wischmeier e Smith (1978) (Equação 1).

$$A = R \times K \times LS \times CP \quad (1)$$

Em que:

A é a perda de solo por unidade de área no tempo (t/ha);

R é o fator erosividade da chuva (MJ.mm/h.ha);

K é o fator de erodibilidade do solo (t.ha.h/ ha.MJ.mm);

LS é o fator topográfico englobando a declividade e comprimento de rampa (adimensional);

C é o fator de uso e manejo do solo (adimensional);

P é o fator de prática conservacionista do solo (adimensional).

De acordo com Silva et al. (2018), tanto o fator C quanto o P se diferenciam dos demais fatores por serem antrópicos, estando relacionados à ocupação e uso das terras.

O método utilizado neste estudo foi adaptado de acordo com a abordagem proposta por Simonetti et al. (2022), visando aprimorar a análise da crítica situação dos solos na bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim. Utilizando amostras de solo em 30 pontos estratégicos, o emprego do Sistema de Informação Geográfica (SIG) permitiu uma análise detalhada da distribuição de nutrientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos fatores de perda de solos na bacia hidrográfica do Pirajibu-Mirim, conforme ilustrado na Figura 2, revelam que o Fator R variou entre 6.878 MJ.mm/h.ha e 8.933 MJ.mm/h.ha, com uma média de 8.058 MJ.mm/h.ha e uma amplitude de 2.055 MJ.mm/h.ha. As porções Norte, Central e Sudeste da bacia hidrográfia apresentaram os maiores valores de R.

Em comparação com outras localidades, como a bacia hidrográfica do rio Una em Ibiúna, que registrou um valor médio anual de erosividade da chuva de 6.660 MJ.mm/h.ha, e estudos no Vale do Ribeira Paulista, onde os valores variaram entre 5.360,60 e 9.278,75 MJ.mm/h.ha, com uma média de 3.918,15 MJ.mm/h.ha, se enquadra nas classes moderada a baixo. Os resultados de erosividade da chuva na bacia do rio Pirajibu-Mirim, quando comparados às classes estabelecidas por Carvalho (2008), indicam que a bacia se enquadra nas classes de moderada a forte (6.878 MJ.mm/h.ha) até forte (8.933 MJ.mm/h.ha).

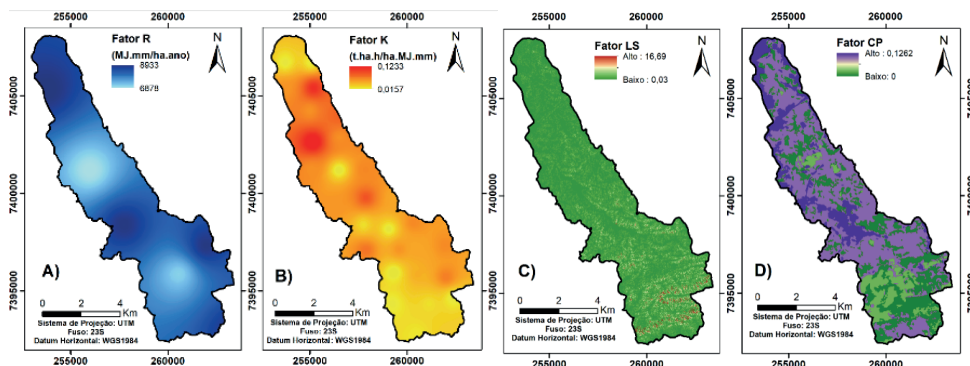



Figura 2: Fatores utilizados na Equação Universal de Perda de solos (EUPS).

A compreensão do Fator R é crucial para identificar as áreas mais propensas à erosão hídrica em bacias hidrográficas.

Os dados quantitativos estão detalhados por sub-bacias na Tabela 1. Na análise das sub-bacias, destaca-se que a Sub-Bacia 1 registra expressivos 99,64% das perdas de solo nas categorias Leve a Moderada. A classe Leve predomina, cobrindo 1.616,83 ha, enquanto a classe Alta representa apenas 0,36%, equivalente a 7,12 ha.

A Sub-Bacia 2 apresenta 75,22% na categoria Leve, abrangendo 778,14 ha, e 22,62% na categoria Moderada, totalizando 234,06 ha. A categoria Alta exibe os menores percentuais, com 2,16% e uma área mínima de 22,34 ha.

Já a Sub-Bacia 3 revela 75,42% (306,91 ha) na classe Leve, 22,89% (93,15 ha) na Moderada e apenas 1,69% (6,89 ha) na classe Alta. Quanto à Sub-Bacia 4, Leve e Moderada representam 97,64%, cobrindo 288,19 ha, sem a presença da classe Muito Alta, similar às Sub-Bacias 1, 2 e 3.

A Sub-Bacia 5 detém 98,30% nas classes Leve e Moderada, totalizando 646,56 ha, enquanto Alta e Muito Alta somam 1,70% (11,23 ha). Por fim, a Sub-Bacia 6 apresenta 92,88% (1.052 ha) na categoria Leve, 6,26% (72,32 ha) na Moderada, e 0,86% (0,86 ha) na Alta, não sendo observada nenhuma classificação Muito Alta para essa sub-bacia.

Tabela 1: Dados quantitativos da perda de solo por sub-bacias.

Sub-Bacias	Classes de Perda de Solo	Área (ha)	%	Sub-Bacias	Classes de Perda de Solo	Área (ha)	%
1	Leve	1.616,83	81,48	4	Leve	227,47	77,07
	Moderada	360,35	18,16		Moderada	60,72	20,57
	Alta	7,12	0,36		Alta	6,97	2,36
	Muito Alta	*	*		Muito Alta	*	*
2	Leve	778,14	75,22	5	Leve	548,58	83,4
	Moderada	234,06	22,62		Moderada	97,98	14,9
	Alta	22,34	2,16		Alta	11,2	1,7
	Muito Alta	*	*		Muito Alta	0,03	0
3	Leve	306,91	75,42	6	Leve	1.052	92,88
	Moderada	93,15	22,89		Moderada	70,95	6,26
	Alta	6,89	1,69		Alta	9,7	0,86
	Muito Alta	*	*		Muito Alta	*	*

Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

As perdas de solo foram predominantes nas categorias Leve e Moderada, com uma média de 5,92 toneladas por hectare ao ano em toda a bacia hidrográfica. Ressalta-se a importância da vegetação na contenção da erosão, observando menores perdas de solo e nutrientes em sub-bacias com maior cobertura vegetal. A análise espacial dos atributos do solo, em conjunto com as perdas relacionadas à erosão hídrica, é crucial para o monitoramento e a implementação de práticas conservacionistas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORRELLI, P. et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nature Communications,** v. 8, n. 1, p. 1-13, 2017.

CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZ, L. P.; DODDS, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering,** v. 94, p. 516-524, 2016.

DAS, B.; PAUL, A. et al. Soil erosion risk assessment of hilly terrain through integrated approach of RUSLE and geospatial technology: a case study of Tirap District, Arunachal Pradesh. **Modeling Earth Systems and Environment,** v. 4, n. 1, p. 373-381, 2018.

EMPLASA – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S. A. **Plano de Ação da Macrometrópole Paulista** 2013/2040. São Paulo: Emplasa, 2019. Disponível em: <https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/plano-macrometropole-paulista-2040/>. Acesso em:10 de dezembro de 2020.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations**.Voluntary Guidelines for sustainable soil management food and agriculture organization of the United Nations**. Rome-Italy, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sorocaba/panorama>. Acesso em: 29 de julho de 2020.

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto (2016). **Adequação e Revisãodo Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água de Sorocaba**. 2016. 205p. Disponível em:<https://www.saaesorocaba.com.br/downloads/314++Plano+Diretor+do+SES+de+Sorocaba+-+Volume+I.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2020.

SILVA, D. C. C. et al. Proposta metodológica para análise espacial de nutrientes do solo em bacias hidrográficas. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 3, p. 85-107, 2018.

SILVA, D. C. C. et al. Análise espacial do custo de reposição de nutrientes do solo em uma bacia hidrográfica. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, 2020.

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Proposta metodológica para identificação de riscos associados ao relevo e antropização em áreas marginais aos recursos hídricos. **Scientia Plena**, v. 15, n. 2, 2019.

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Reflexos ambientais da perda de nutrientes do solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim (SP). **Caminhos de Geografia, Uberlândia**, v. 23, n. 87, p. 84–102, 2022.

TIAN, H.Q. et al. Food benefit and climate warming potential of nitrogen fertilizer uses in China. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 4, p. 044020, 2012.

VATANDAŞLAR, C.; YAVUZ, M. Modeling cover management factor of RUSLE using very high-resolution satellite imagery in a semiarid watershed. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 2, p. 65, 2017.

WOLKA, K. et al. Effects of soil bunds on surface runoff, erosion and loss of nutrients. **Science of The Total Environment**, p. 142877, 2021.

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL E FLORESTA EM PARATY, RJ

Data de aceite: 01/04/2024

Aurea Pinto dos Ramos
Doutoranda do Programa de Pós-graduação Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Sandra Santana de Lima
Pós-doutoranda PNPD/CAPES (UFRRJ)

Cyndi dos Santos Ferreira
Mestranda do Programa de Pós-graduação Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Caio Simões dos Santos Nicolau
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Eliane Maria Ribeiro da Silva
Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: A agregação é um processo que exerce efeito nas propriedades do solo relativas à aeração, permeabilidade, taxas de infiltração, ao sequestro de carbono e retenção de nutrientes, e pode aumentar a porosidade, contribuindo na diminuição da densidade do solo (Ds). Os sistemas agroflorestais melhoraram a qualidade do solo devido ao aumento da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e biodiversidade. Assim, objetivou-se avaliar a estabilidade e densidade do solo em áreas de sistema agroflorestal (SAF) e fragmento de floresta secundária (FL) em Paraty, RJ. Para tanto, foram coletadas amostras indeformadas na profundidade de 0-10 cm. A estabilidade de agregados foi avaliada por meio do equipamento Yoder. A partir da massa seca, foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e foi avaliada a sua distribuição nas seguintes classes de diâmetro médio: 1,0 ≥ 0,25 mm (mesoagregados) e 0,25 ≥ 0,106 mm (microagregados). Também foi analisada a densidade do solo (Ds). Os dados foram submetidos à análise do Teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Benferroni a 5% de probabilidade. Observou-se que não houve diferença entre as áreas, considerando os dados do DMP, DMG e Ds. Houve diferença apenas nos valores dos microagregados. O manejo utilizado na área de SAF está contribuindo para a manutenção da qualidade do solo, considerando a semelhança entre as áreas no que se refere à estabilidade dos agregados e densidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo, física do solo, sustentabilidade.

EVALUATION OF PHYSICAL ATTRIBUTES IN AGROFORESTRY AND FOREST SYSTEM IN PARATY, RJ

ABSTRACT: Aggregation is a process that has an effect on soil properties related to aeration, permeability, infiltration rates, carbon sequestration, and nutrient retention, which can increase porosity, contributing to a decrease in bulk density (Bd). Agroforestry systems improve soil quality by increasing organic matter, nutrient cycling and biodiversity. Thus, the objective was to evaluate soil stability and density in an area with the agroforestry system (AFS) and secondary forest. The study was carried out in Paraty, RJ in an AFS area and a fragment of secondary forest (FL). For analysis, undisturbed samples were collected at a depth of 0-10 cm. Aggregate stability was carried out using Yoder equipment. From the mass of aggregates, the weighted average (WAD) and geometric (GMD) diameter of the aggregates were calculated and their distribution in the following average diameter classes was evaluated: 1.0 ≥ 0.25 mm (mesoaggregates) and 0.25 ≥ 0.106 mm (microaggregates). Soil density (Ds) was also analyzed. The data were subjected to F Test analysis (ANOVA) and the means were compared using the Benferroni test at 5% probability. It was observed that there was no difference between the areas in the WAD, GMD, and Bd data. There was only a difference in the values of the microaggregates. The management used in the AFS area is contributing to the maintenance of soil quality considering the similarity in aggregate stability and soil density in the areas.

KEYWORDS: soil conservation, soil physics, Sustainability.

INTRODUÇÃO

As partículas unitárias do solo podem ser unir, levando à formação de unidades compostas chamadas de agregados do solo, por meio dos processos físicos, químicos e biológicos (TIVET et al., 2013). A agregação exerce efeito principalmente nas propriedades do solo relativas à aeração, permeabilidade, taxas de infiltração, retenção de água no solo, ao sequestro de carbono (VEZZANI ; MIELNICZUCK, 2011; LOSS et al., 2017) e retenção de nutrientes (SILVA et al., 2010). Adicionalmente, a agregação também pode promover um aumento da porosidade, em especial da macroporosidade, contribuindo na diminuição da densidade do solo (Ds).

A adição de matéria orgânica ao solo favorece o processo de agregação, melhorando as características físicas do solo, especialmente formando agregados maiores que 2,00 mm, que são considerados indicadores de qualidade do solo (VEZZANI;MIELNICZUCK, 2011), e formando agregados mais estáveis em água (YAGUE et al., 2012). Neste sentido, sistemas agrícolas que aportam mais matéria orgânica podem contribuir efetivamente para aumentar a estabilidade do solo.

Sistemas conservacionistas, como os sistemas agroflorestais (SAF), têm demonstrado eficiência em melhorar a qualidade do solo devido ao aumento da matéria

orgânica, ciclagem de nutrientes e biodiversidade, contribuindo, consequentemente, para melhoraria das propriedades biológicas, químicas e físicas do solo (FÁVERO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2018; PEREZ et al., 2022). Considerando os benefícios atribuídos ao manejo SAF, é importante o monitoramento de tais benefícios no que se refere ao aporte de matéria orgânica, assim como sua influência nos atributos físicos do solo. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade dos agregados e a densidade do solo em áreas com o sistema agroflorestal e fragmento florestal secundário.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em abril de 2023, no final do período chuvoso, no município de Paraty, estado de Rio de Janeiro. Foram selecionadas duas áreas, sendo uma de sistema agroflorestal (SAF) com 18 anos de implantação, nas coordenadas de latitude 23º 30'74" S, longitude 44º 70'92" W e altitude de 21 m, e outra um fragmento de floresta secundária (FL) tropical subcaducifólia com 39 anos de regeneração no bioma Mata Atlântica, com a distância de pelo menos 15 m entre as áreas. Os solos das duas áreas apresentam horizonte superficial com textura franca.

Para análise da estabilidade dos agregados, foram coletadas amostras indeformadas na profundidade de 0-10 cm, considerando um delineamento experimental inteiramente casualisado, com cinco repetições em cada área. A análise da estabilidade de agregados foi realizada no equipamento Yoder, seguindo os procedimentos de homogeneização, umedecimento, peneiramento via úmida, secagem e pesagem do material retido em cada peneira (CASTRO FILHO et al., 1998). A partir da massa, foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e avaliada a sua distribuição nas seguintes classes de diâmetro médio: 1,0 ≥ 0,25 mm (mesoagregados) e 0,25 ≥ 0,106 mm (microagregados).

Também foi determinada a densidade do solo (Ds), por meio da coleta das amostras indeformadas nos mesmos locais de coleta das amostras para agregados, no sentindo horizontal, pelo método do anel volumétrico (Kopeck), que possui volume conhecido (40,93 cm^3). A Ds foi calculada pela seguinte equação: Ds = ($Mg\ m^{-3}$) = Ms/Vs; em que Ms = massa seca do solo, em Mg; e Vs = volume do solo, em m^3, conforme descrito em EMBRAPA (1997).

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Barttlet, respectivamente. Posteriormente, foram submetidos à análise do Teste F (ANOVA), quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos, e as médias foram comparadas pelo teste de Bonferroni a 5% de probabilidade, pelo software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de estabilidade dos agregados, observou-se que não houve diferença entre as áreas estudadas, para os dados do DMP e DMG (Tabela 1). Portanto, o manejo com SAF promoveu uma estabilidade dos agregados equivalente à área de floresta, fato que representa um importante benefício decorrente do manejo.

Tabela 1: Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) do SAF e FL em Parati, RJ.

Áreas	DMP (mm)	DMG (mm)
SAF	4,85 a	4,42 a
FL	4,78 a	4,43 a
CV (%)	23,65	41,33

Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Bonferroni. SAF: Sistema agroflorestal, FL: Fragmento florestal secundário, CV: Coeficiente de Variação.

De acordo com Tivet et al. (2013), a ausência de diferença para DMP e DMG na camada superficial do solo (0-10 cm) indica que o manejo empregado na área de SAF foi eficiente para manter os elevados índices de agregação do solo. Este resultado pode ser em decorrência da adição de matéria orgânica, com destaque para a adição de serapilheira diversa decorrente da composição florística do SAF. Adicionalmente, o sistema radicular das espécies utilizadas pode estar favorecendo a agregação do solo, pois a densidade radicular exerce efeito na aproximação e na estabilização das partículas, favorecendo dessa a maneira a formação dos agregados.

Figura 1: Distribuição da massa dos agregados nas peneiras 1, 0,5, 0,25 e 0,106 mm nas áreas de Sistema Agroflorestal (SAF) e fragmento de floresta secundária (FL) em Paraty, RJ. Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Bonferroni.

No que se refere à massa dos agregados nas peneiras, não foi verificada diferença para as malhas das peneiras de 1 e 0,5 mm (mesoagregados). Porém para as peneiras de menor diâmetro de malha, 0,25 e 0,106 mm (microagregados) na área de SAF, verificou-se diferença, com maiores valores na área FL (Figura 1). Isto indica que os microagregados são mais estáveis na área de FL. De modo geral, os menores valores nas peneiras dos mesoagregados indicam que estes são mais estáveis, em comparação aos microagregados.

No que se refere a densidade do solo (Ds), verificou-se que em ambas as áreas estudadas os valores também não diferiram, seguindo o mesmo padrão observado para a agregação (Figura 2).

Figura 2: Densidade do solo (Ds) nas áreas de SAF (Sistema Agroflorestal) e FL (fragmento de floresta secundária) em Paraty, RJ. Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Bonferroni.

Os menores valores de Ds na área de fragmento de floresta secundária podem ser decorrentes da ausência de atividade antrópica e pisoteio animal. A densidade exerce influência direta na infiltração e retenção de água no solo, bem como indica a organização das partículas e o espaço poroso resultante desse arranjamento, diminuindo a suscetibilidade do solo a processos erosivos (OLIVEIRA et al., 2017). Dessa forma, os valores de Ds na área do SAF podem ser atribuídos principalmente ao tipo de manejo utilizado (GUARIZ et al., 2009; SILVA et al., 2015).

CONCLUSÕES

O manejo utilizado na área de SAF está contribuindo para a manutenção da qualidade do solo, considerando a ausência de diferenças com relação à área de fragmento florestal secundário, quanto à estabilidade dos agregados e densidade do solo. Os menores valores de massa de mesoagregados indicam que estes são mais estáveis, em comparação aos microagregados.

AGRADECIMENTOS

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, E. C. G., Silva, T. C., Lima, T. V., Santos, N. A. T., & Borges, C. H. A. Macrofauna como bioindicadora de qualidade do solo para agricultura convencional e agrofloresta. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 14(2),108-116, 2018.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

FÁVERO, C.; LOVO, I.C.; MENDONÇA, E.S. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 861-868, 2008.

GUARIZ, H.R.; CAMPANHARO, W. A.; PICOLI, M. H. S.; CECÍLIO, R.A.; HOLLANDA, M.P. de. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais**. Rev. Bras. Agroecologia**, v.4, n. 2, p. 3293-3296, 2009.

LOSS, A. et al. Carbon, nitrogen and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in biogenic and physicogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. **Soil & Tillage Research**, v. 166, p. 52-58, 2017.

OLIVEIRA, B.S. et al. Atributos Biológicos do Solo em Sistema de Integração LavouraPecuária-Floresta, na Região Amazônica. **Revista Engenharia na Agricultura** - REVENG, v. 23, n. 5, p. 448-456, 2017.

TIVET, F. et al. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 203-218, 2013.

PEREZ, J.C.F. et al. Biomassa acumulada acima do solo e fauna epiedáfica em um sistema agroflorestal com 5 anos de idade. Anais da Reunião Técnica sobre Agroecologia - Agroecologia, Resiliência e Bem Viver - Pelotas, RS, v. 17, n. 3, 2022.

Silva, L., Silva, I., Inda J., Nascimento, P. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência e Agrotecnolgia.** 34(6): 1365-1371, 2010.

SILVA, H.; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K. M. V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M.; PARRON, L. M.; CHEROBIM, V. F.; MARIOTI, J.; FERRARI NETO, H. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: **Embrapa**, 2015. p. 71-83.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.

YAGUE, M.R. et al. Pig slurry and mineral fertilization strategies' effects on soil quality: Macroaggregate stability and organic matter fractions. **Science of the Total Environment**, v. 438, p. 218-224, 2012.

CAPÍTULO 5

TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADAS PARA ANÁLISE ESPACIAL DA MATÉRIA ORGÂNICA EM BACIA HIDROGRÁFICA

Data de aceite: 01/04/2024

Arthur Pereira dos Santos
Doutorandos do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (UNESP/ICTS)

Alessandro Xavier da Silva Júnior
Estudante de graduação em Engenharia Ambiental (UNESP/ICTS)

Liliane Moreira NERY
Doutorandos do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (UNESP/ICTS)

Anderson Trindade de Moura
Estudante de graduação em Engenharia Ambiental (UNESP/ICTS)

Enzo Felippe Ponzetta
Estudante de graduação em Engenharia Ambiental (UNESP/ICTS)

Darllan Collins da Cunha e Silva
Professor Dr. do departamento de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

RESUMO: Quantificar a matéria orgânica presente no solo é fundamental para analisar a funcionalidade dos sistemas agrícolas, pois essa se relaciona intimamente com a produtividade. Contudo, sua distribuição é um processo de alto custo e oneroso. Porém, diante do avanço tecnológico e do aprimoramento das técnicas de geoprocessamento, é possível, por meio de amostragem, espacializar esses valores. Portanto, o presente trabalho objetiva, por meio do Interpolador de Média Ponderada pelo Inverso da Distância (*Inverse Distance Weighting* - IDW), espacializar a matéria orgânica presente no solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu (BHRS), localizada no estado de São Paulo (SP) e que possui importância ambiental e econômica para a região, principalmente pela predominância de olericultura entre os agricultores familiares. Para tanto, coletou-se 27 amostras no local que foram analisadas no laboratório de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu (FCA) - UNESP. Os resultados apontam para uma classificação de matéria orgânica entre média e alta por toda a bacia hidrográfica, o que está intimamente relacionado com as atividades agrícolas predominantes praticadas no local. Deste modo, pode-se concluir que as técnicas de geoprocessamento aplicadas neste trabalho

mostraram desempenho satisfatório para fins de avaliação desse parâmetro e correlações com essa atividade, sendo esses resultados primordiais para a tomada de decisões agrícolas.
PALAVRAS-CHAVE: amostragem, idw, produtividade agrícola, sistemas agrícolas.

GEOPROCESSING TECHNIQUES APPLIED FOR SPATIAL ANALYSIS OF ORGANIC MATTER IN WATERSHED

ABSTRACT: Quantifying the organic matter in the soil is essential to analyze the functionality of agricultural systems, as this is closely related to their productivity. However, its distribution is a costly process. However, in view of technological advances and the improvement of geoprocessing techniques, it is possible, through sampling, to spacialize these values. Therefore, the present work aims, by means of the Inverse Distance Weighting (IDW) Interpolator, to spatialize the organic matter in the soil of the Sorocabuçu River Basin (BHRS), located in the state of São Paulo (SP) and which has environmental and economic importance for the region, mainly due to the predominance of olericulture by family farmers. To this end, 27 samples were collected at the site, which were analyzed at the Laboratory of Soils and Environmental Resources of the Faculty of Agronomic Sciences of Botucatu (FCA) - UNESP. The results point to a classification of organic matter between medium and high throughout the watershed, which is closely related to the agricultural activities predominantly practiced. Though, it is possible to conclude that the geoprocessing techniques applied in this work showed satisfactory performance for the purpose of evaluating this parameter and correlations with this activity. These results are essential for agricultural decision-making.
KEYWORDS: crop productivity, farming systems, idw, sampling.

INTRODUÇÃO

O solo é um dos recursos naturais na superfície terrestre essencial para o desenvolvimento de grande parte das atividades antrópicas, com destaque para a produção de alimentos (GALLARDO, 1988). Sendo assim, a disponibilidade de matéria orgânica no solo é um dos fatores imprescindíveis para o desenvolvimento agrícola, sendo que a relação entre a quantidade de matéria orgânica disponível no solo e o desenvolvimento das culturas tem sido um tema de suma importância na comunidade científica, pois a capacidade do solo de fornecer os nutrientes necessários para as plantas é um fator crítico que afeta diretamente o sucesso da produção agrícola (SMITH et al., 2015).

Consequentemente, vale destacar que a matéria orgânica influencia a fertilidade do solo, a retenção de água e a saúde das plantas, bem como apresenta diversas outras funcionalidades, sendo que, no contexto brasileiro, a sua importância é ainda mais válida, uma vez que o país possui uma das maiores extensões de terras agrícolas do mundo (MEDEIROS et al., 2022).

Portanto, a espacialização da matéria orgânica em bacias hidrográficas surge como uma importante ferramenta de planejamento, fornecendo a identificação das áreas mais susceptíveis aos processos de desenvolvimento agrícola. Diante disso, o presente trabalho

objetiva avaliar a espacialização da matéria orgânica do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu (BHRS), de forma a se obter um produto capaz de subsidiar os gestores agrícolas e ambientais da região em relação às áreas que possuem maior e menor capacidade de desenvolvimento, em relação à produção da agricultura local.

MATERIAL E MÉTODOS

A BHRS (Figura 1) pertence à região do Alto Rio Sorocaba, integrada à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos rios Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI-10). Está localizada na região sudeste do estado de São Paulo, com uma área de aproximadamente 202 km², e totalmente inserida no município de Ibiúna, que possui uma população de aproximadamente 75 mil habitantes e uma área territorial de 1.058 km² (IBGE, 2023).

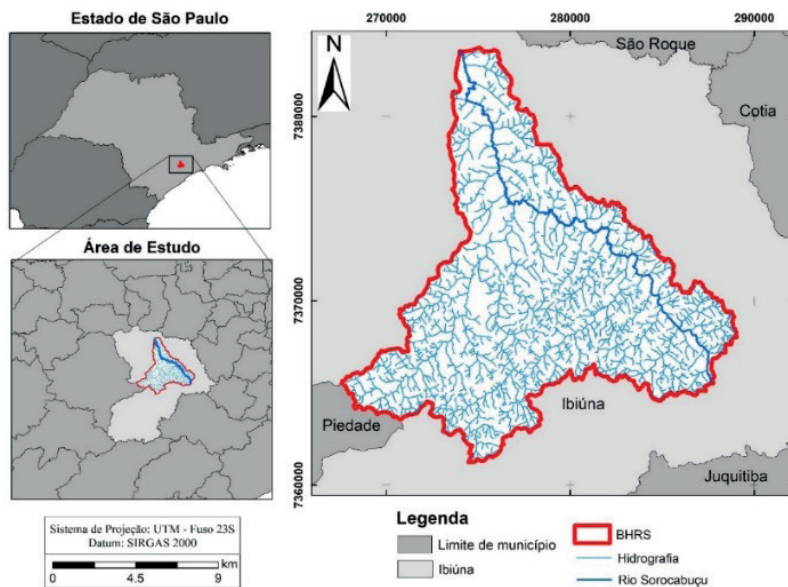



Figura 1: Área de estudo. Fonte: Autores (2023).

A pedologia na BHRS é predominantemente marcada pelo Latossolo vermelho Amarelo (LVA) e Gleissolo Melânico (GM1), correspondendo respectivamente a 89% e 10% da área de bacia hidrográfica (ROSSI, 2017), e a principal fonte de renda da população residente no local é a atividade agrícola, enfocada na produção de olericulturas (SOUSA et al., 2022).

A coleta de dados referente aos aspectos químicos do solo foi realizada em 27 pontos amostrais, distribuídos regularmente ao longo da BHRS. Em campo, contou-se com o auxílio do GPS, com as coordenadas previamente determinadas em laboratório. Para tal, considerou-se uma profundidade de 0-20 cm, no qual foi retirado cerca de 500g de solo por meio do uso da escavadeira. Em cada ponto amostral foi realizado a caracterização

ambiental por meio de fotografias. Posteriormente, as amostras foram identificadas, preparadas e analisadas junto ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu (FCA) – UNESP.

Para a distribuição espacial do fator calculado, visando a espacialização das informações obtidas na etapa anterior, aplicou-se o Interpolador de Média Ponderada pelo Inverso da Distância (*Inverse Distance Weighting* - IDW) (Equação 1) e se utilizou o software ArcGis 10.6.

$$xp = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{d_i^2} * xi\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{d_i^2}\right)} \quad (1)$$

Em que:

xp refere-se ao atributo interpolado; xi refere-se ao valor do atributo do i-ésimo ponto de amostragem; di refere-se distância euclidiana entre o i-ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado; n refere-se ao número de amostras.

Por fim, realizou-se o mapa temático do parâmetro analisado para a BHRS, empregando o software QGis em sua versão 3.28.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à análise espacial da matéria orgânica, os resultados estão dispostos na Figura 2. Na Tabela 1, apresenta-se a estatística descritiva dessa distribuição.

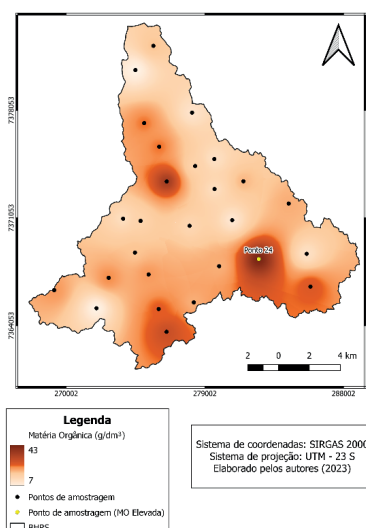



Figura 2: Distribuição espacial de matéria orgânica na BHRS. Fonte: Autores (2023).

Com base no comportamento espacial da matéria orgânica na BHRS, é possível observar que houve uma alternância de 7 g/dm³ mais ao norte e 43 g/dm³ ao sudeste da bacia hidrográfica. Entretanto, mediante à Tabela 1, verifica-se que valor médio em toda extensão foi de 22,12 g/dm³, com um desvio padrão de 4,90 g/dm³.

Tabela 1: Estatística descritiva da distribuição espacial da matéria orgânica.

Identificação	**Mínimo** (g/dm³)	**Máximo** (g/dm³)	**Média** (g/dm³)	**Desvio Padrão (±)**
Matéria orgânica	7,00	43,00	20,12	4,90

Fonte: Autores (2023).

Segundo as recomendações realizadas por van Raij (1996), o teor de matéria orgânica disponível no solo se remete a idealização de agregação. Sendo assim, solos que apresentem valores de até de 15 g/dm³ se remetem aos solos arenosos, entre 16 e 30 g/dm³ solos de textura média e, de 31 a 60 g/dm³, solos argilosos.

Posto isso, é possível verificar que o solo na BHRS se remete aos solos de textura média apresentando um valor de 20,12 g/dm³, corroborando ao mapeamento e classificação do solo apresentado por Rossi (2017).

Ademais, a porção sudeste, em específico o ponto 24, apresentou valores elevados para o parâmetro em questão. Este fato que se correlaciona com os estudos realizados na BHRS por Paixão (2021) e Costa (2020), na qual se identifica a elevada presença de vegetação. A elevada presença de vegetação pode ser contemplada pelas fotografias dos pontos cardeais, realizadas no dia da amostragem (Figura 2).

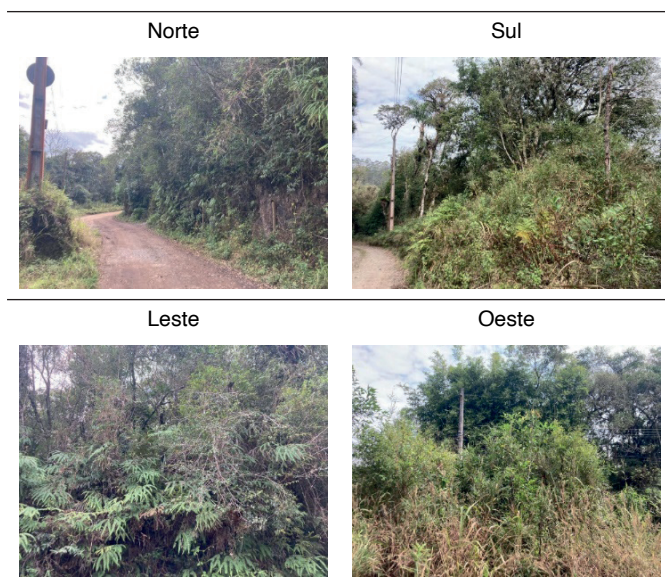



Figura 3. Pontos cardeais do ponto de amostragem 24. Fonte: Autores 2023.

Nesse sentido, convém destacar estudos que apresentam a importância da matéria orgânica do solo na agricultura. Lavelle et al (2016) demonstraram que a adição de matéria orgânica ao solo pode aumentar significativamente a produção de culturas, melhorando a qualidade dos produtos agrícolas e reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos. Além do mais, a matéria orgânica acaba desempenhando um papel crucial na redução da erosão e na manutenção da qualidade do solo, em sistemas de agricultura de conservação (DE MORAES et al., 2009).

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que a BHRS é caracterizada por apresentar quantitativo de matéria orgânico médio e alto em, praticamente, toda a sua extensão, fato que se relaciona com as práticas de olericulturas presentes na região. Além disso, as técnicas de geoprocessamento apresentadas, bem como o interpolador IDW, mostraram desempenho satisfatório para espacialização e avaliação desse parâmetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, H.F. **Análise temporal da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Sorocabuçu, Ibiúna, SP**. 2020. 82 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Sorocaba, 2020.

DE MORAES, S.A. et al. Interações entre carbono orgânico e fertilidade do solo afetadas por uma cronossequência de preparo em um Latossolo Brasileiro. **Pesquisa de Solo e Cultivo**, v. 1, pág. 56-64, 2009.

GALLARDO, D.J. **Usos y Conservación de Suelos**. Geologia Ambiental. Série Ingeneria Geoambiental. Instituto Tecnológico Geormineiro de España, Madrid. 1988. https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: 06 out. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/ibiuna/panorama. Acesso em: 6 out. 2023.

LAVELLE, P. et al. Engenheiros de ecossistemas em um solo auto-organizado: uma revisão de conceitos e questões de pesquisas futuras. **Ciência do Solo**, v. 3/4, pág. 91-109, 2016.

MEDEIROS, A.S. et al. Estoques de carbono do solo e compartimentos da matéria orgânica sob sistemas convencionais no semiárido brasileiro. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 3, p. 697-710, 2022.

PAIXÃO, B.M. **O uso de geotecnologias em estudos integrados de variáveis físicas e socioambientais em bacias hidrográficas**. 2021. 89 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Sorocaba, 2021.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, v. 1, p. 118, 2017.

SMITH, P. et al. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. **Soil**, v. 1, n. 2, p. 665-685, 2015.

SOUSA, J.A.P. et al. Proposta de um indicador de sustentabilidade para fragmentos florestais (ISFF) por meio de modelagem ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 1, p. 250-267, 2022.

VAN RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. (Boletim técnico, 100). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8014593/mod_resource/content/1/Boletim_tecnico_100_pdf.pdf. Acesso em: 6 out. 2023.

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL E FLORESTA EM PARATY, RJ

Data de aceite: 01/04/2024

Aurea Pinto dos Ramos
Doutoranda do Programa de Pós-graduação Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Sandra Santana de Lima
Pós-doutoranda PNPD/CAPES (UFRRJ)

Cyndi dos Santos Ferreira
Mestranda do Programa de Pós-graduação Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Caio Simões dos Santos Nicolau
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Eliane Maria Ribeiro da Silva
Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: A agregação é um processo que exerce efeito nas propriedades do solo relativas à aeração, permeabilidade, taxas de infiltração, ao sequestro de carbono e retenção de nutrientes, e pode aumentar a porosidade, contribuindo na diminuição da densidade do solo (Ds). Os sistemas agroflorestais melhoraram a qualidade do solo devido ao aumento da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e biodiversidade. Assim, objetivou-se avaliar a estabilidade e densidade do solo em áreas de sistema agroflorestal (SAF) e fragmento de floresta secundária (FL) em Paraty, RJ. Para tanto, foram coletadas amostras indeformadas na profundidade de 0-10 cm. A estabilidade de agregados foi avaliada por meio do equipamento Yoder. A partir da massa seca, foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e foi avaliada a sua distribuição nas seguintes classes de diâmetro médio: 1,0 ≥ 0,25 mm (mesoagregados) e 0,25 ≥ 0,106 mm (microagregados). Também foi analisada a densidade do solo (Ds). Os dados foram submetidos à análise do Teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Benferroni a 5% de probabilidade. Observou-se que não houve diferença entre as áreas, considerando os dados do DMP, DMG e Ds. Houve diferença apenas nos valores dos microagregados. O manejo utilizado na área de SAF está contribuindo para a manutenção da qualidade do solo, considerando a semelhança entre as áreas no que se refere à estabilidade dos agregados e densidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: conservação do solo, física do solo, sustentabilidade.

EVALUATION OF PHYSICAL ATTRIBUTES IN AGROFORESTRY AND FOREST SYSTEM IN PARATY, RJ

ABSTRACT: Aggregation is a process that has an effect on soil properties related to aeration, permeability, infiltration rates, carbon sequestration, and nutrient retention, which can increase porosity, contributing to a decrease in bulk density (Bd). Agroforestry systems improve soil quality by increasing organic matter, nutrient cycling and biodiversity. Thus, the objective was to evaluate soil stability and density in an area with the agroforestry system (AFS) and secondary forest. The study was carried out in Paraty, RJ in an AFS area and a fragment of secondary forest (FL). For analysis, undisturbed samples were collected at a depth of 0-10 cm. Aggregate stability was carried out using Yoder equipment. From the mass of aggregates, the weighted average (WAD) and geometric (GMD) diameter of the aggregates were calculated and their distribution in the following average diameter classes was evaluated: 1.0 ≥ 0.25 mm (mesoaggregates) and 0.25 ≥ 0.106 mm (microaggregates). Soil density (Ds) was also analyzed. The data were subjected to F Test analysis (ANOVA) and the means were compared using the Benferroni test at 5% probability. It was observed that there was no difference between the areas in the WAD, GMD, and Bd data. There was only a difference in the values of the microaggregates. The management used in the AFS area is contributing to the maintenance of soil quality considering the similarity in aggregate stability and soil density in the areas.
KEYWORDS: soil conservation, soil physics, Sustainability.

INTRODUÇÃO

As partículas unitárias do solo podem ser unir, levando à formação de unidades compostas chamadas de agregados do solo, por meio dos processos físicos, químicos e biológicos (TIVET et al., 2013). A agregação exerce efeito principalmente nas propriedades do solo relativas à aeração, permeabilidade, taxas de infiltração, retenção de água no solo, ao sequestro de carbono (VEZZANI; MIELNICZUCK, 2011; LOSS et al., 2017) e retenção de nutrientes (SILVA et al., 2010). Adicionalmente, a agregação também pode promover um aumento da porosidade, em especial da macroporosidade, contribuindo na diminuição da densidade do solo (Ds).

A adição de matéria orgânica ao solo favorece o processo de agregação, melhorando as características físicas do solo, especialmente formando agregados maiores que 2,00 mm, que são considerados indicadores de qualidade do solo (VEZZANI; MIELNICZUCK, 2011), e formando agregados mais estáveis em água (YAGUE et al., 2012). Neste sentido, sistemas agrícolas que aportam mais matéria orgânica podem contribuir efetivamente para aumentar a estabilidade do solo.

Sistemas conservacionistas, como os sistemas agroflorestais (SAF), têm demonstrado eficiência em melhorar a qualidade do solo devido ao aumento da matéria

orgânica, ciclagem de nutrientes e biodiversidade, contribuindo, consequentemente, para melhoraria das propriedades biológicas, químicas e físicas do solo (FÁVERO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2018; PEREZ et al., 2022). Considerando os benefícios atribuídos ao manejo SAF, é importante o monitoramento de tais benefícios no que se refere ao aporte de matéria orgânica, assim como sua influência nos atributos físicos do solo. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade dos agregados e a densidade do solo em áreas com o sistema agroflorestal e fragmento florestal secundário.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em abril de 2023, no final do período chuvoso, no município de Paraty, estado de Rio de Janeiro. Foram selecionadas duas áreas, sendo uma de sistema agroflorestal (SAF) com 18 anos de implantação, nas coordenadas de latitude 23º 30'74" S, longitude 44º 70'92" W e altitude de 21 m, e outra um fragmento de floresta secundária (FL) tropical subcaducifólia com 39 anos de regeneração no bioma Mata Atlântica, com a distância de pelo menos 15 m entre as áreas. Os solos das duas áreas apresentam horizonte superficial com textura franca.

Para análise da estabilidade dos agregados, foram coletadas amostras indeformadas na profundidade de 0-10 cm, considerando um delineamento experimental inteiramente casualisado, com cinco repetições em cada área. A análise da estabilidade de agregados foi realizada no equipamento Yoder, seguindo os procedimentos de homogeneização, umedecimento, peneiramento via úmida, secagem e pesagem do material retido em cada peneira (CASTRO FILHO et al., 1998). A partir da massa, foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e avaliada a sua distribuição nas seguintes classes de diâmetro médio: 1,0 ≥ 0,25 mm (mesoagregados) e 0,25 ≥ 0,106 mm (microagregados).

Também foi determinada a densidade do solo (Ds), por meio da coleta das amostras indeformadas nos mesmos locais de coleta das amostras para agregados, no sentindo horizontal, pelo método do anel volumétrico (Kopeck), que possui volume conhecido (40,93 cm^3). A Ds foi calculada pela seguinte equação: Ds = ($Mg\ m^{-3}$) = Ms/Vs; em que Ms = massa seca do solo, em Mg; e Vs = volume do solo, em m^3, conforme descrito em EMBRAPA (1997).

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Barttlet, respectivamente. Posteriormente, foram submetidos à análise do Teste F (ANOVA), quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos, e as médias foram comparadas pelo teste de Bonferroni a 5% de probabilidade, pelo software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de estabilidade dos agregados, observou-se que não houve diferença entre as áreas estudadas, para os dados do DMP e DMG (Tabela 1). Portanto, o manejo com SAF promoveu uma estabilidade dos agregados equivalente à área de floresta, fato que representa um importante benefício decorrente do manejo.

Tabela 1: Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) do SAF e FL em Parati, RJ.

Áreas	DMP (mm)	DMG (mm)
SAF	4,85 a	4,42 a
FL	4,78 a	4,43 a
CV (%)	23,65	41,33

Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste de Bonferroni. SAF: Sistema agroflorestal, FL: Fragmento florestal secundário, CV: Coeficiente de Variação.

De acordo com Tivet et al. (2013), a ausência de diferença para DMP e DMG na camada superficial do solo (0-10 cm) indica que o manejo empregado na área de SAF foi eficiente para manter os elevados índices de agregação do solo. Este resultado pode ser em decorrência da adição de matéria orgânica, com destaque para a adição de serapilheira diversa decorrente da composição florística do SAF. Adicionalmente, o sistema radicular das espécies utilizadas pode estar favorecendo a agregação do solo, pois a densidade radicular exerce efeito na aproximação e na estabilização das partículas, favorecendo dessa a maneira a formação dos agregados.

Figura 1: Distribuição da massa dos agregados nas peneiras 1, 0,5, 0,25 e 0,106 mm nas áreas de Sistema Agroflorestal (SAF) e fragmento de floresta secundária (FL) em Paraty, RJ. Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Bonferroni.

No que se refere à massa dos agregados nas peneiras, não foi verificada diferença para as malhas das peneiras de 1 e 0,5 mm (mesoagregados). Porém para as peneiras de menor diâmetro de malha, 0,25 e 0,106 mm (microagregados) na área de SAF, verificou-se diferença, com maiores valores na área FL (Figura 1). Isto indica que os microagregados são mais estáveis na área de FL. De modo geral, os menores valores nas peneiras dos mesoagregados indicam que estes são mais estáveis, em comparação aos microagregados.

Quanto a densidade do solo (Ds), verificou-se que em ambas as áreas estudadas os valores também não diferiram, seguindo o mesmo padrão observado para a agregação (Figura 2).

Figura 2: Densidade do solo (Ds) nas áreas de SAF (Sistema Agroflorestal) e FL (fragmento de floresta secundária) em Paraty, RJ. Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância, pelo teste de Bonferroni.

Os menores valores de Ds na área de fragmento de floresta secundária podem ser decorrentes da ausência de atividade antrópica e pisoteio animal. A densidade exerce influência direta na infiltração e retenção de água no solo, bem como indica a organização das partículas e o espaço poroso resultante desse arranjamento, diminuindo a suscetibilidade do solo a processos erosivos (OLIVEIRA et al., 2017). Dessa forma, os valores de Ds na área do SAF podem ser atribuídos principalmente ao tipo de manejo utilizado (GUARIZ et al., 2009; SILVA et al., 2015).

CONCLUSÕES

O manejo utilizado na área de SAF está contribuindo para a manutenção da qualidade do solo, considerando a ausência de diferenças com relação à área de fragmento florestal secundário, quanto à estabilidade dos agregados e densidade do solo. Os menores valores de massa de mesoagregados indicam que estes são mais estáveis, em comparação aos microagregados.

AGRADECIMENTOS

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, E. C. G., Silva, T. C., Lima, T. V., Santos, N. A. T., & Borges, C. H. A. Macrofauna como bioindicadora de qualidade do solo para agricultura convencional e agrofloresta. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 14(2),108-116, 2018.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

FÁVERO, C.; LOVO, I.C.; MENDONÇA, E.S. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 861-868, 2008.

GUARIZ, H.R.; CAMPANHARO, W. A.; PICOLI, M. H. S.; CECÍLIO, R.A.; HOLLANDA, M.P. de. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais**. Rev. Bras. Agroecologia**, v.4, n. 2, p. 3293-3296, 2009.

LOSS, A. et al. Carbon, nitrogen and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in biogenic and physicogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. **Soil & Tillage Research**, v. 166, p. 52-58, 2017.

OLIVEIRA, B.S. et al. Atributos Biológicos do Solo em Sistema de Integração LavouraPecuária-Floresta, na Região Amazônica. **Revista Engenharia na Agricultura** - REVENG, v. 23, n. 5, p. 448-456, 2017.

TIVET, F. et al. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 203-218, 2013.

PEREZ, J.C.F. et al. Biomassa acumulada acima do solo e fauna epiedáfica em um sistema agroflorestal com 5 anos de idade. Anais da Reunião Técnica sobre Agroecologia - Agroecologia, Resiliência e Bem Viver - Pelotas, RS, v. 17, n. 3, 2022.

Silva, L., Silva, I., Inda J., Nascimento, P. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência e Agrotecnolgia.** 34(6): 1365-1371, 2010.

SILVA, H.; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K. M. V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M.; PARRON, L. M.; CHEROBIM, V. F.; MARIOTI, J.; FERRARI NETO, H. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: **Embrapa**, 2015. p. 71-83.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.

YAGUE, M.R. et al. Pig slurry and mineral fertilization strategies' effects on soil quality: Macroaggregate stability and organic matter fractions. **Science of the Total Environment**, v. 438, p. 218-224, 2012.

COMUNIDADES DA MACROFAUNA NA SERAPILHEIRA EM SISTEMA AGROFLORESTAL E FLORESTA EM PARATY, RJ

Data de aceite: 01/04/2024

Aurea Pinto dos Ramos
Doutoranda do Programa de Pós-graduação Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Sandra Santana de Lima
Pós-doutoranda PNPD/CAPES (UFRRJ)

Cyndi dos Santos Ferreira
Mestranda do Programa de Pós-graduação Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Ana Beatriz Gonçalves Vasques da Silva
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Irene da Silva Coelho
Professora do Departamento de Microbiologia e Imunologia Veterinária (UFRRJ

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: A decomposição da serapilheira é realizada fundamentalmente pela fauna edáfica, que é um importante bioindicador ambiental. Diante disso, este estudo teve como objetivo, avaliar a densidade e a diversidade da fauna edáfica da serapilheira, em um sistema agroflorestal (SAF) e um fragmento florestal (FL). O estudo foi realizado no município de Paraty, Rio de Janeiro, sendo uma área de SAF com 18 anos de implementação e numa área de floresta com 39 anos de regeneração. A coleta da serapilheira foi realizada em abril de 2023, utilizando o método do TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), com 5 repetições em cada área. A partir dos dados foi estimada, a densidade e a riqueza total da macrofauna e comparadas por meio dos índices de diversidade de Shannon e de equitabilidade de Pielou. A densidade de ind.m^{-2} foi maior na área de SAF (534,4 ind.m^{-2}), comparativamente a área FL (355,2 ind.m^{-2}). Na área de SAF observou-se uma menor riqueza total (16 grupos) em comparação a área de FL (13 grupos). O sistema agroflorestal também se destacou com os maiores valores dos índices ecológicos de Shannon e Pielou, respectivamente 2,36 e 0,66, enquanto na área de floresta observou-se menores valores, respectivamente 1,63 e 0,44. O manejo agroflorestal favoreceu a abundância, densidade, diversidade e equitabilidade da fauna edáfica.

PALAVRAS-CHAVE: bioindicador, fauna do solo, sistema conservacionista

MACROFAUNA COMMUNITIES IN THE LITTER IN AGROFORESTRY SISTEM AND FOREST IN PARATY, RJ

ABSTRACT: Litter decomposition is carried out fundamentally by soil fauna, which is an important environmental bioindicator. Therefore, this study aimed to evaluate the density and diversity of soil fauna in litter, in an agroforestry system (AFS) compared to a forest fragment (FL). The study was carried out in Paraty, in the state of Rio de Janeiro in an AFS area with 18 years of implementation and in a forest area with 39 years of regeneration. Litter collection was carried out in April 2023, using the TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) method, with 5 replications in each area. From the data, the density and total richness of macrofauna were estimated and compared using Shannon's diversity and Pielou's equitability indices. The density of square ind.m2 was higher in the SAF area (534.4 ind.m^{-2}) than in the FL area (355.2 ind.m^{-2}). In the AFS area, lower total richness (16 groups) was observed in relation to the FL area (13 groups). The AFS also stood out with the highest values of the Shannon and Pielou ecological indices, respectively 2.36 and 0.66, and the forest area with the lowest values, respectively 1.63 and 0.44. Agroforestry management favored the abundance, density, diversity and equitability of soil fauna.
KEYWORDS: bioindicator, conservation system, soil fauna

INTRODUÇÃO

Os fragmentos orgânicos provenientes dos componentes senescentes da parte aérea dos vegetais, ao serem depositados no solo, formam uma camada orgânica denominada de serapilheira (GOLLEY, 1978, MARTINS et al., 2018). A serapilheira atua na ciclagem de nutrientes e também na regulação da infiltração da água no solo e é amplamente utilizada na recuperação de áreas degradadas (ASHFORD et al., 2013; CUNHA NETO et al., 2013).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) têm sido recomendados como um meio de restaurar áreas degradadas (LEWIS et al., 2020), sendo que a composição destes pode promover maior deposição de serapilheira e consequentemente favorecer os organismos do solo.

Neste sentido, a decomposição da serapilheira depende fundamentalmente da atuação da fauna edáfica, que se encontra inteiramente envolvida nos processos de fragmentação e estimulação da comunidade microbiana do solo. A comunidade dos organismos do solo é considerada um importante bioindicador ambiental por ser sensível às mudanças do meio, incluindo às práticas de manejo das culturas (BIANCHI et al., 2017; LIMA et al., 2019; KITAMURA et al., 2020).

Em função da importância destes organismos no processo de decomposição da serapilheira este estudo teve como objetivo, avaliar a densidade e a diversidade da fauna edáfica em um sistema agroflorestal em comparação a um fragmento florestal.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Paraty, estado de Rio de Janeiro. Foram selecionadas, uma área com sistemas agroflorestais (SAFs) e uma de fragmento florestal (FL). As áreas apresentam coordenadas de latitude 23º30'74" S, longitude 44º70'92" W e altitude de 21 m, a área de SAF tem 18 anos de implantação, por outro lado, a área de floresta é a um fragmento de floresta tropical subcaducifolia com 39 anos de regeneração no bioma Mata Atlântica, caracterizada por apresentar dossel fechado. Os solos das duas áreas apresentam horizonte superficial com textura franca.

A coleta foi realizada em abril de 2023, no final do período chuvoso, sendo utilizado o método do TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) descrito por Anderson & Ingram (1996). As amostragens da fauna seguiram um delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições em cada área. As amostras foram coletadas com um auxílio de um gabarito metálico de dimensões 25 x 25 cm, sendo retirada a serapilheira e adicionada em sacos plásticos devidamente identificados. Todos os indivíduos coletados nesses pontos foram quantificados e identificados de acordo com GALLO et al. (2002) e PEREIRA et al. (2018). A partir dos dados foi estimada para cada tratamento, a densidade da macrofauna, expressa em número de indivíduos por metro quadrado. As comunidades da macrofauna foram comparadas por meio do índice de diversidade de Shannon: $H = -\sum pi.\log pi$; onde $pi = ni/N$; ni = densidade de cada grupo, $N = \sum$ da densidade de todos os grupos e de equitabilidade de Pielou: $e = H/\log R$; onde: R = riqueza, representada pelo número de grupos taxonômicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se um total de 278 indivíduos, sendo a maior densidade da fauna invertebrada verificada na área de SAF com 167 indivíduos em comparação a área de FL, com 111 indivíduos (Figura 1). O manejo realizado na área agroflorestal provê melhores condições do solo, o que contribui para a presença e o aumento da comunidade da fauna no local.

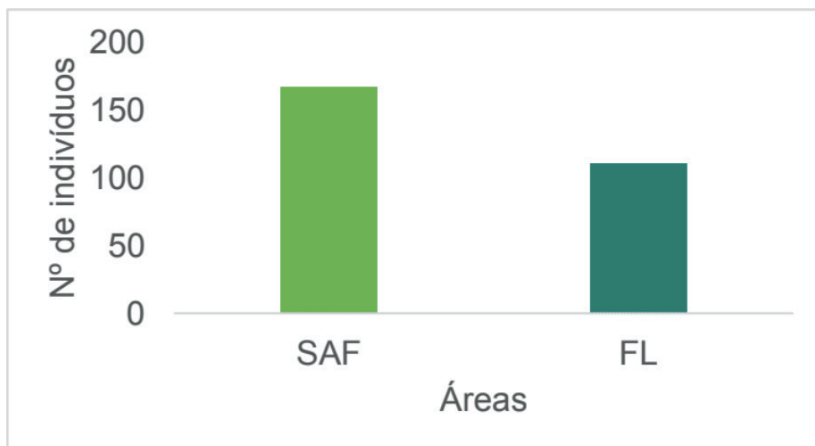



Figura 1: Densidade total de indivíduos da macrofauna invertebrada do solo, pelo método TSBF nas áreas de SAF (Sistema Agroflorestal) e FL (Floresta) em Paraty, RJ.

SILVA et al. (2016) avaliando a fauna do solo na serapilheira em áreas de SAF e floresta, em Paraty, também constataram maior densidade da comunidade da fauna, no período de inverno, na área de SAF. MARTINS et al. (2018) e CABREIRA et al. (2019) desenvolveram estudos em áreas de SAF e Floresta no Rio de Janeiro, e também observaram resultados semelhantes.

Foi observado ao todo 16 grupos, sendo identificados: Araneae, Blattodea, Chilopoda, Coleoptera, Dermaptera, Diplopoda, Diplura, Heteroptera, Formicidae, Gastropoda, Isopoda, Larva de Coleoptera, Larva de Diptera, Oligochaeta, Thysanoptera e Thysanura (Figura 2).

Na área de SAF verificou-se maior incidência dos grupos sendo verificados: Formicidae (50,9%), Gastropoda (18,6%), Isopoda (9,5%) e Coleoptera (5,9%), enquanto na área de floresta foi observado a maior frequência dos seguintes grupos em ordem crescente: Isopoda (69,4%), seguida por Araneae (6,3%) e Coleoptera (6,3%) (Figura 2).

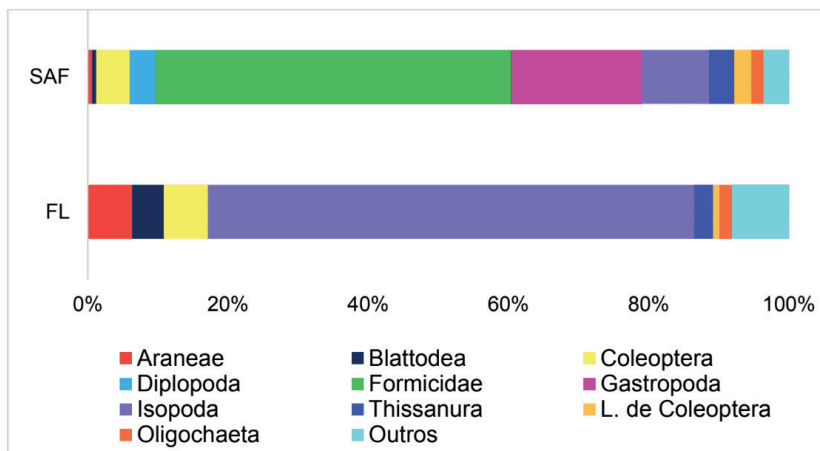



Figura 2: Frequência relativa (%) dos grupos da fauna edáfica, coletada pelo método TSBF nas áreas de SAF (Sistema Agroflorestal) e FL (Floresta) em Paraty, RJ. Outros: Chilopoda, Dermaptera, Diplura, Heteroptera, Larva de Diptera e Thysanoptera.

Os grupos Isopoda, Coleoptera e Gastropoda, são detritívoros e decompositores, e por conseguinte, atuam preferencialmente no compartimento serapilheira decompondo e reciclando a matéria orgânica (MO) para liberá-la ao solo (BARETTA et al., 2010; PARRON et al., 2015). Logo, a presença desses grupos nas áreas estudadas representa um fator positivo, no que se refere ao processo de decomposição e ciclagem da matéria orgânica. Em contrapartida, o grupo Formicidae ou formigas tem características biológicas e ecológicas que as tornam sensíveis ao ambiente que vivem e desempenham múltiplos papéis na regulação de processos ecológicos (PETERS et al., 2016). Áreas que apresentam maior complexidade estrutural, como grau de conservação e diversidade de vegetais, possuem maior disponibilidade de recursos e consequentemente maior diversidade de formigas (Ahuatzin et al., 2019).

A densidade de ind.m^{-2} foi maior na área de SAF (534,4 ind.m^{-2}) em comparação a área FL (355,2 ind.m^{-2}). No que se refere aos valores de riqueza média e total verificou-se uma baixa variação na riqueza total, com maior valor verificado na área de FL. O SAF destacou-se com os maiores valores dos índices ecológicos de Shannon e Pielou, respetivamente 2,36 e 0,66, e, para a área de floresta foram observados para os índices de Shannon e Pielou 1,63 e 0,44 (Tabela 1).

Tabela 1. Abundância (Ind.m^{-2}), riquezas e índices de diversidade de Shannon e uniformidade de Pielou dos grupos da fauna edáfica coletada pelo método TSBF em Paraty, RJ.

	ind.m^{-2}	**Erro Padrão**	**Riq Média**	**Riq. Total**	**Shannon**	**Pielou**
SAF	534,4	180,358	5,20	12	2,36	0,66
FL	355,2	70,59	5,20	13	1,63	0,44

Os maiores valores na área de SAF possivelmente estão relacionados a melhores condições físicas, químicas e biológicas que este sistema oferece ao solo, favorecendo a maior presença e diversidade de organismos. Estudando áreas de SAF e floresta em Paraty, Silva et al. (2016) obtiveram resultados semelhantes avaliando a fauna do solo. A complexidade estrutural do ambiente favorece o desenvolvimento e estabelecimento da comunidade edáfica, sendo verificada uma maior diversidade e distribuição mais equilibrada o que eleva os valores destes índices (Araújo et al., 2018).

CONCLUSÃO

O manejo agroflorestal favoreceu a densidade, diversidade e equitabilidade da fauna edáfica, indicando que este tipo de manejo promove condições para o desenvolvimento da macrofauna e consequentemente, sua contribuição nos serviços ambientais, os quais estão envolvidos.

AGRADECIMENTOS

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUATZIN, D. A.; CORRO, E. J.; JAIMES, A. A.; VALENZUELA GONZÁLEZ, J. E.; FEITOSA, R. M. Forest cover drives leaf litter ant diversity in primary rainforest remnants within human-modified tropical landscapes. **Biodiversity and Conservation**, v. 28, p. 1091-1107, 2019.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. **CAB Internatiaonal**, 171p, 1989.

ASHFORD, O. S; FOSTER, W. A; TURNER, B. I; SAYER, E. J; SUTCLIFFE, L.; TANNER, E. V. J. Manipulação de serapilheira e comunidade de artrópodes do solo em uma floresta tropical de várzea. **Biologia e Bioquímica do Solo**, 62, 5-12, 2013.

Baretta, D.; Brown, G. G.; Cardoso, E. J. B. N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com Araucaria angustifólia. **Acta Zool Mexicana,** 135-50, 2010.

BIANCHI, M. O.; SCORIZA, R. N.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; CORREIA, M. A. F., SILVA, E. M. R. Macrofauna edáfica como indicadora em revegetação com leguminosas arbóreas. **Revista Floresta e Ambiente**, 2017.

CABREIRA, W. C.; LIMA, S. S.; SANTOS, R. N.; FERNANDES, D. A. C.; PEREIRA, M. G. Fauna epígea associada à fragmentação de folhedo de espécimes de *Paubrasilia echinata* Lam. (pau-brasil). **ENFLO**, v.7, 2019.

CUNHA NETO, F.V; LELES, P.S.S; PEREIRA, M.G; BELLUMATH, V.G.H; ALONSO, J.M. Acúmulo e colocação da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, 379-387, 2013.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. Manual de Entomologia Agrícola. São Paulo. **Editora Agronômica CERES Ltda**, p. 19, 2002.

KITAMURA, A. E., TAVARES, R. L. M., ALVES, M. C., SOUZA, Z. M., SIQUEIRA, D. S. Soil macrofauna as bioindicator of the recovery of degraded Cerrado soil. **Ciência Rural,** 1-8, 2020.

GOLLEY, F.B. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**; tradução de Eurípides Malavolta. São Paulo: EPU. Ed. da Universidade de São Paulo, 1978.

LEWIS, S. L.; WHEELER, C.E.; MITCHARD, E. T.; KOCH, A. Regenerate natural forests to store carbon. **Nat. Commun**, 25–28, 2020.

LIMA, S. S.; BENAZZI, E. S.; OLIVEIRA, N. C. R.; LEITE, L. F. C. Diversidade da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no semiárido. **Revista Agrarian**, 328-337, 2019.

MARTINS, W. B. R; FERREIRA, G. C.; SOUZA, F. P; DIONÍSIO, F. L. S; OLIVEIRA, F. A. Deposição de serapilheira e nutrientes em áreas de mineração submetidas a métodos de restauração florestal em Paragominas, Pará. **Floresta**, 48, 1, 37-48, 2018.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G; PRADO, R. B. Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília**: Embrapa**, p. 92-100, 2015.

PEREIRA, M. G.; CABREIRA, W. V.; LIMA, S. S.; ROCHA, J. E.; SANTOS, R. N.; SILVA, R. G. Manual de coleta e identificação da fauna edáfica. **Agência Brasileira do ISBN**. Seropédica, 44p, 2018.

PETERS, V. E.; CAMPBELL, K. U.; DIENNO, G.; GARCÍA, M. LEAK, E. Ants and plants as indicators of biodiversity, ecosystem services, and conservation value in constructed grasslands. **Biodiversity and Conservation,** v.25, p.1481-1501, 2016.

Silva, M.S.C., Correia, M.E.F., Silva, E.M.R., Maddock, J.E.L., Pereira, M.G., Silva, C.F. Soil Fauna Communities and Soil Attributes in the Agroforests of Paraty. **Floresta e Ambiente**, 180-190, 2016.

CAPÍTULO 8

APLICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES E FRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E SEU EFEITO NA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE RAIZES E FOLHAS DE PLANTAS DE PEPINO (*CUCUMIS SATIVUS* L.)

Data de aceite: 01/04/2024

Ayhessa Cristina Santos de Lima
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Samuel de Abreu Lopes
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Raphaella Esterque Cantarino
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Tadeu Augusto van Tol de Castro
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (UFRRJ)

Andrés Calderín Garcia
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O estudo objetivou avaliar a composição elementar de raízes e folhas de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) submetidas à aplicação radicular em solução nutritiva de frações húmicas obtidas a partir de vermicomposto de esterco bovino processado por minhocas vermelhas africanas e de leonardita de origem tcheca. A análise do teor de carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N) nas amostras vegetais foi realizada por um FlashSmart CHNS e o teor de oxigênio (O) foi determinado por diferença. Os resultados obtidos demonstram de maneira evidente a existência de diferenças nos efeitos sobre a composição elementar de raízes e folhas das plantas, sendo de um tipo para ácidos húmicos e de outro para ácidos fúlvicos. De maneira geral, os estímulos nas quantidades de C, H, N e O das raízes foram semelhantes, havendo aumento ou redução conjunta pelo efeito das substâncias húmicas, porém com intensidades diferentes, onde as alterações mais abruptas foram proporcionadas pela aplicação de ácido húmico de leonardita. Nas folhas foram observadas alterações significativas pela aplicação de ácido fúlvico de vermicomposto, havendo aumento na quantidade de C, H e, principalmente, N, e redução do teor de O.

PALAVRAS-CHAVE: ácido fúlvico, ácido húmico, bioatividade, teor elementar.

APPLICATION OF DIFFERENT SOURCES AND FRACTIONS OF HUMIC SUBSTANCES AND THEIR EFFECT ON THE ELEMENTAL COMPOSITION OF ROOTS AND LEAVES OF CUCUMBER PLANTS (*CUCUMIS SATIVUS* L.)

ABSTRACT: The study aimed to evaluate the elemental composition of roots and leaves of cucumber plants (Cucumis sativus L.) subjected to root application in a nutrient solution of humic fractions obtained from bovine manure vermicompost processed by African red earthworms and leonardite of Czech origin.Analysis of carbon (C), hydrogen (H) and nitrogen (N) content in plant samples was performed by a FlashSmart CHNS and oxygen (O) content was determined by difference.The results obtained clearly demonstrate the existence of differences in the effects on the elemental composition of plant roots and leaves, being of one type for humic acids and another for fulvic acids.In general, the stimuli in the amounts of C, H, N and O in the roots were similar, with a joint increase or reduction due to the effect of humic substances, but with different intensities, the most abrupt changes were provided by the application of leonardite humic acid. in the leaves, significant changes were observed by the application of vermicompost fulvic acid, with an increase in the amount of C, H and, mainly, N, and a reduction in the O content.
KEYWORDS: bioactivity, elemental content, fulvic acid, humic acid.

INTRODUÇÃO

As substâncias húmicas (SH) são frações estáveis da matéria orgânica do solo e têm seu fracionamento definido por características físico-químicas distintas, obtidas com base em critérios de solubilidade. São usualmente classificadas como: ácido fúlvico (AF), fração solúvel em meios alcalino e ácido; ácido húmico (AH), fração solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido; e humina, fração insolúvel em qualquer condição de pH (MUSCOLO;SIDARI, 2009; BOTERO, 2010). A atividade biológica das SH depende do material de origem, tamanho molecular, concentração, estrutura e composição (BALDOTTO e BALDOTTO, 2014). Considerando a regulação transcricional de redes genéticas, alguns estudos afirmam que a aplicação de SH afeta certos fatores de transcrição envolvidos na absorção radicular e subsequente metabolismo de diferentes nutrientes, mostrando efeitos positivos no metabolismo vegetal e no desenvolvimento das plantas (GARCÍA et al., 2019; TAVARES et al., 2020; CASTRO et al., 2021). O interesse na aplicação de bioestimulantes à base de SH em áreas de cultivo tem se tornado frequente na comunidade agrícola, uma vez que os custos associados às substâncias húmicas são geralmente considerados baixos, por serem derivadas de compostos orgânicos e aplicadas em concentrações relativamente baixas.

Desse modo, o presente estudo foi conduzido a fim de avaliar a composição elementar de raízes e folhas de plantas de pepino *(CucumissativusL.)* submetidas a aplicação radicular em solução nutritiva de diferentes fontes e frações de SH.

MATERIAL E MÉTODOS

As frações húmicas utilizadas no estudo foram obtidas a partir de vermicomposto (AHVC e AFVC) e de leonardita (AHCHECO). O ácido húmico e fúlvico de vermicomposto foram extraídos a partir do produto da vermicompostagem de esterco bovino processado por minhocas vermelhas africanas (*Eudriluseugenae spp.*) durante aproximadamente 90 dias, na Fazendinha Agroecológica do km 47, Seropédica-RJ. O AHCHECO foi extraído na Facultad de Ciencias da Universidad de Navarra, obtido a partir de leonardita de origem tcheca. As substâncias húmicas foram extraídas seguindo a metodologia da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SISH) e de acordo com o protocolo metodológico descrito por Swift (1996).

As sementes de pepino (*Cucumissativus L.*) da variedade Ashley foram germinadas em água com 1mM de $CaSO_4$, no escuro, sobre perlita e papel filtro umedecido em câmara de germinação. Uma semana após a germinação, as plantas foram transferidas para recipientes de 7L em solução hidropônica. A solução nutritiva utilizada foi: 0,63 mM de K_2SO_4; 0,5 mM de KH_2PO_4; 0,5 mM de $CaSO_4$; 0,30 mM de $MgSO_4$; 0,25 mM de KNO_3; 0,05 mM de KCl e 0,87 mM de $Mg(NO_3)_2$; 40 μM de H_3BO_3; 4μM de $MnSO_4$; 2 μM de $CuSO_4$; 4 μM de $ZnSO_4$ e 1,4 μM de Na_2MoO_4. A solução nutritiva continha 40 μM de ferro como EDDHA quelato (80% de isômero orto-orto). Nenhuma precipitação de espécies inorgânicas de Fe foi observada ao longo do experimento. O pH das soluções nutritivas foi mantido em 6,0 e não se alterou significativamente durante o experimento. Todos os experimentos foram realizados em câmara de crescimento a 28/21 ºC, umidade relativa de 70–75% e fotoperíodo, dia/noite, de 15/9 h (irradiância: 250 μmol m^{-2} s^{-1}). Após 10 dias de crescimento das plantas, foram aplicados quatro tratamentos por aplicação via radicular: tratamento controle, que recebeu apenas a solução nutritiva, AHVC 50 mg L^{-1}, AFVC 50 mg L^{-1} e AHCHECO 50 mg L^{-1}. As plantas foram coletadas aos 22 DAG, correspondente a 120 horas após a aplicação dos tratamentos. Determinada parte do material vegetal foi pesada e posteriormente seca (60°C) para determinação da massa seca da parte aérea e massa seca da raiz, e outra parte foi congelada em nitrogênio líquido e armazenados a -80 ºC para posterior análise. Todas as determinações foram realizadas com cinco repetições. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado. O teste de média foi feito por tukey ($p<0,05$).

A análise do teor de carbono, hidrogênio e nitrogênio nas amostras de raiz e parte aérea foi realizada por um FlashSmart CHNS. As amostras secas foram primeiramente trituradas. Aproximadamente 1mg de amostra foi preparado para cada uma das medições e foi repetido duas vezes para cada repetição. O teor de oxigênio foi determinado por diferença (base livre de cinzas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a composição elementar de raízes e folhas de plantas de pepino submetidas a aplicação radicular de AHVC, AFVC e AHCHECO à 50 ppm. A aplicação de todos os tipos de substâncias húmicas resultou em aumento significativo na quantidade de carbono radicular, sendo que o teor em raízes tratadas com AHCHECO se mostrou significativamente superior aos de outras SH. Nas folhas apenas a aplicação de AFVC resultou em teor de C estatisticamente superior aos demais tratamentos.

Em relação ao teor de hidrogênio, assim como para o percentual de C, a aplicação de AHVC, AFVC e AHCHECO resultou em aumento significativo nas raízes quando comparado com o controle, sendo que as tratadas com AHCHECO mostraram quantidade de H estatisticamente superior ao estímulo resultante do AHVC. Nas folhas, apenas a aplicação de AFVC resultou em quantidade de hidrogênio significativamente superior ao controle. O teor de nitrogênio nas raízes não sofreu alterações significativas devido à aplicação de substâncias húmicas via radicular. A quantidade de N nas folhas aumentou significativamente somente pela aplicação de AFVC. O teor de oxigênio nas raízes reduziu significativamente independentemente do tipo de substância húmica aplicada em comparação com o controle, porém, o AHCHECO resultou em quantidade de O significativamente inferior aos observado pela aplicação de AHVC e AFVC. Nas folhas apenas a aplicação de AFVC resultou alterações significativas com o controle, reduzindo o teor de oxigênio neste órgão.

Os resultados mostram claramente que há diferenças nos efeitos sobre a composição elementar de raízes e folhas de plantas, sendo de um tipo para ácidos húmicos e de outro para ácidos fúlvicos. De maneira geral, os estímulos nas quantidades de C, H, N e O das raízes foram semelhantes, havendo aumento ou redução conjunta pelo efeito das substâncias húmicas, porém com intensidades diferentes, sendo o AHCHECO o que resultou nas alterações mais abruptas, como discutido anteriormente. No entanto, nas folhas, as quantidades de C, H, N e O sofreram alterações significativas apenas pela aplicação de AFVC, havendo aumento na quantidade de C, H e N, e redução do teor de O.

O impacto das substâncias húmicas na promoção da absorção e remobilização de macronutrientes pelas plantas ocorre devido a uma combinação de efeitos diretos no metabolismo das plantas e alterações na rizosfera. Embora os mecanismos subjacentes que estimulam a absorção de nutrientes nas plantas tratadas com SH ainda não estejam completamente compreendidos, os benefícios desses compostos na nutrição das plantas são notáveis (MORA et al., 2014; TAVARES et al., 2016; CASTRO et al., 2021).

Tabela 1: Composição elementar de raízes e folhas de plantas de pepino submetidas a aplicação radicular de AHVC, AFVC e AHCHECO à 50 ppm.

		Controle	AHVC 50	AFVC 50	AHCHECO 50
		%			
C	Raiz	36,07 c	38,25 b	38,51 b	39,61 a
	Folha	39,36 b	38,57 b	60,54 a	37,07 b
H	Raiz	4,63 c	5,22 b	5,27 ab	5,39 a
	Folha	5,75 b	5,49 b	8,70 a	5,43 b
N	Raiz	5,55 a	5,57 a	5,46 a	5,47 a
	Folha	5,68 b	5,24 b	8,86 a	5,30 b
O	Raiz	53,75 a	50,96 b	50,76 b	49,53 c
	Folha	49,21 a	50,70 a	21,89 b	52,20 a

*Valores que apresentam letras semelhantes na mesma linha não diferiram significativamente entre si, por tukey>0,05.

CONCLUSÕES

A aplicação das substâncias húmicas exerce efeitos significativos de diferentes intensidades sob a regulação dos teores de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio de raízes e folhas, indicando o potencial promissor do uso destes bioestimulantes no acúmulo de elementos essenciais para a cultura. Os resultados não só validam seus efeitos, mas também abrem campo para alavancar mais estudos acerca do tema e explorar seu pleno potencial.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Química Biológica do Solo, ao PPGA-CS, a SBCS, a UNAV SciencesFaculty e a UFRRJ. Também agradecemos às agências de fomento CAPES, FAPERJ e CNPq pela disponibilização de recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOTERO, W. G. **Substâncias húmicas: interações com nutrientes e contaminantes.** 2010. 75 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres, Viçosa**, v. 61, n. 7, p. 856-881, nov./dez. 2014.

CASTRO, T. A.V. T.; BERBARA, R. L. L.; TAVARES, O. C. H.; MELLO, D. F. G.; PEREIRA, E. G.; SOUZA, C. C. B.; ESPINOSA, L. M.; GARCÍA, A. C. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants. **Plant PhysiolBiochem**, v.162, p. 171–184, 2021.

GARCÍA, A. C.; CASTRO, T. A. V. T.; SANTOS, L. A.; TAVARES, O. C. H.; CASTRO, R. N.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA-MINA, J. M. Structure–Property–Function Relationship of Humic Substances in Modulating the Root Growth of Plants: A Review. **Journal of Environmental Quality**, v. 48, p. 1622–1632, 2019.

MORA, V.; BACAICOA, E.; BAIGORRI, R.; ZAMARRENO, A.M.; GARCÍA-MINA, J.M.N.O. NO and IAA Key Regulators in the Shoot Growth Promoting Action of Humic Acid in Cucumis sativus L**.J Plant Growth Regul.**, v. 33, p. 430–439, 2014.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M. Carboxyl and phenolic humic fractions affect Pinus nigra callus growth and metabolism. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 4, p. 1119-1129, 2009.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMNER, M.E., eds. Methods of soil analysis. Chemical methods. Part 3. Madison, Soil Science Society of America; **American Society of Agronomy**, 1996. p.1011-1020.

TAVARES, O.; SANTOS, L.; FERREIRA, L.; SPERANDIO, M.; DA ROCHA, J.; GARCÍA, A.; DOBBSS, L.; BERBARA, R.; DE SOUZA, S.; FERNANDES, M. Humic acid differentially improves nitrate kinetics under low- and high-affinity systems and alters the expression of plasma membrane H+-ATPases and nitrate transporters in rice**. Ann Appl Biol**, v. 170, p. 89-103, 2016.

TAVARES, O.C.H.; SANTOS, L. A.; FERREIRA, D. F.; & FERREIRA, L. M.; GARCÍA, A. C.; CASTRO, T. A. V. T.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Response surface modeling of humic acid stimulation of the rice Oryza sativa L.) root system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, 2020.

EFEITO DE DIFERENTES PREPAROS DO SOLO NA VEGETAÇÃO ESPONTÂNEA, EM SISTEMA ORGÂNICO DE PRODUÇÃO

Data de aceite: 01/04/2024

Camilla Santos Reis de Andrade da Silva
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) (UFRRJ)

Jander Barbosa da Silva Júnior
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agricultura no Trópico úmido (INPA)

Joyce Eugenio Perrut
Estudante de graduação em Licenciatura em Ciências Agrícolas (UFRRJ)

Matheus da Silva Afonso
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Maura Santos Reis de Andrade da Silva
Pós-Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) (UFRRJ)

Ednaldo da Silva Araújo
Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Agrobiologia)

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito dos diferentes preparos do solo sobre custos de produção da vegetação espontânea. O estudo foi conduzido no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), sob delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Nas parcelas experimentais, foram estabelecidos três tratamentos: a) sistema de plantio direto (PD) sem uso de herbicida e com uso de triturador de palha horizontal (Triton) para triturar as plantas de cobertura; b) preparo convencional com o uso da enxada rotativa e c) preparo convencional com o uso de uma aração e duas gradagens. As variáveis mensuradas foram: produtividade, produção de biomassa, tempo de capina e custo com mão de obra. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados demonstram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para as médias de tempo de capina e custo com mão de obra. Observou-se diferença significativa entre os tratamentos somente para a produção média de biomassa seca, na primeira capina. Desta forma, pode-se inferir que o manejo conservacionista do

solo pode agregar economia ao produtor agrícola, uma vez que os resultados demostraram que os custos de produção com o manejo da vegetação espontânea no PD foram similares aos custos dos tratamentos com preparo convencional.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura orgânica, controle de plantas espontâneas, plantio direto.

EFFECT OF DIFFERENT SOIL PREPARATION ON SPONTANEOUS VEGETATION, IN ORGANIC PRODUCTION SYSTEM

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the effect of different soil preparations on spontaneous vegetation production costs. The study was conducted in the Integrated Agroecological Production System (SIPA), under a randomized block experimental design, with four replications. In the experimental plots, three treatments were established: a) direct planting system without the use of herbicide and with the use of a horizontal straw shredder (Triton) to crush the cover crops; b) conventional tillage using a rotary hoe and c) conventional tillage using one plow and two harrows. The variables measured were productivity, biomass production, weeding time and labor cost. The results were subjected to analysis of variance using the F test and the means were compared using the Tukey test at 5% significance. The results demonstrate that there was no significant difference between treatments for average weeding time and labor costs. A significant difference was observed between treatments only for the average production of dry biomass in the first weeding. In this way, it can be inferred that soil conservation management can add savings to the agricultural producer, since the results demonstrated that the production costs with the management of spontaneous vegetation in the PD were similar to the costs of treatments with conventional tillage.

KEYWORDS: control of spontaneous plants, no tillage, organic agriculture.

INTRODUÇÃO

O manejo vegetação espontânea é uns dos principais gargalos da lavoura orgânica, essas plantas competem por luz, água e nutrientes com a cultura de interesse. Além disso, podem comprometer a produtividade das culturas se não forem manejadas corretamente. Com vistas ao seu controle, a capina manual é frequentemente utilizada, sendo uma das atividades agrícolas mais onerosa em sistemas orgânicos de produção (JOKELA; NAIR, 2016).

Em função disso, o preparo convencional do solo é continuamente utilizado produção orgânica de hortaliças por possibilitar arranque da vegetação espontânea no início do cultivo e melhorar as condições do plantio. Contudo, tal prática de manejo sem a presença da cobertura vegetal expõe o solo aos processos erosivos (REICHERT et al., 2003). Desse modo, a alternativa mais viável para potencializar a qualidade do solo em sistemas orgânicos é a introdução do sistema de plantio direto. Porém, a principal dificuldade para a inserção deste sistema é o manejo vegetação espontânea sem uso de herbicida.

Em vista disso, diversos estudos já demonstraram que as espécies de adubo verde empregadas como plantas de cobertura inibem o crescimento e desenvolvimento

das plantas espontâneas. É considerada uma das práticas mais eficiente na gestão das espontâneas na agricultura orgânica, além de promover a reciclagem de nutriente e a melhoria qualidade física, química e biologia do solo (VAKALI et al., 2011).

A adubação verde combinada no sistema plantio direto apresenta grande potencial para promover o manejo sustentável das terras agrícolas. Por este motivo, há uma crescente busca para tornar este sistema uma crescente realidade nas produções orgânicas (HALDE et al., 2015). Contudo, poucos estudos identificaram a influência do manejo das plantas espontâneas sobre os custos de produção no sistema de plantio direto de hortaliças.

Diante do exposto, a finalidade deste trabalho foi avaliar o efeito dos diferentes preparos do solo sobre custos de produção da vegetação espontânea na produção orgânica de abóbora.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no ano agrícola de 2014/2015 em área experimental pertencente ao Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), na Fazendinha Agroecológica Km 47. O SIPA está situado no município de Seropédica, RJ. O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, cujas características químicas na camada de 0-20 cm foram obtidas a partir de amostragem realizada no experimento: C orgânico = 6,3 g kg^{-1}, pH = 6,3; Ca = 3,5 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg = 1,26 $cmol_c$ dm^{-3}; Al = 0,00 $cmol_c$ dm^{-3}; P = 68,5 mg dm^{-3}; K = 129,5 mg dm^{-3}. Nas parcelas experimentais (5 x 12 m) foram avaliados três tratamentos de preparo do solo, a saber: sistema de plantio direto (PD), sem uso de herbicida e com uso triturador de palha horizontal (Triton); preparo convencional com o uso da enxada rotativa (PC-ER); e preparo convencional (PC-AG) com o uso de uma aração e duas gradagens.

A metodologia empregada nessa pesquisa para o sistema de plantio direto, sem o uso de herbicida, consistiu no uso do pré-cultivo de milho consorciado com diferentes leguminosas a cada ano de produção (feijão de porco; crotalária, mucuna preta/verde, crotalária). O pré-cultivo foi manejado pelo Triton, e desta forma, constituiu-se em palhada sobre a superfície do solo. Consecutivamente, são estabelecidos os tratamentos de preparos convencionais do solo para o posterior plantio das culturas principais (abobrinha, feijão comum, repolho. brócolis e abóbora). Concluída a colheita das hortaliças, repetem-se os tratamentos estabelecidos (PD, PC e ER), e novamente é implantado o pré-cultivo com milho e a leguminosa.

A avaliação da vegetação espontânea foi realizada durante a condução do experimento com abóbora jacarezinho. Realizou-se o levantamento da vegetação espontânea aos 16 dias após a semeadura (DAS) da olerícola, por ocasião da primeira capina. Isso foi feito com o auxílio de um quadrado com área interna de 1,00 m^2, acomodado na parte central da parcela (Figura 4). As plantas presentes nas amostras foram encaminhadas ao laboratório, em seguida

foram postas para secar em estufa de ventilação forçada de ar a 65 ºC, por 72 horas, até o material vegetal alcançar massa constante, para quantificação da produção de biomassa aérea seca. Aos 24 DAS da abóbora, na segunda capina, as populações infestantes de plantas espontâneas foram novamente avaliadas.

Os dados obtidos neste estudo foram analisados por meio da Análise de Variância e efetuou-se o teste não paramétrico de Friedman nas variáveis respostas que não atenderam aos pressupostos homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos após a transformação dos dados. Utilizou-se o software R 3.5.1 (R Development Core Team, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de biomassa da vegetação espontânea na primeira capina apresentaram diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 1). O sistema de plantio direto apresentou maior média, denotando maior biomassa da vegetação espontânea. Este efeito é em razão da eliminação da mobilização do solo, e desta forma as ervas espontâneas não são eliminadas com a mesma eficiência do que o verificado nos demais tratamentos. Por sua vez, este sistema de manejo é o que mais contribui para a manutenção da estrutura e da qualidade do solo, na produção de hortaliças (SILVA et al., 2021).

Tabela 1: Produção média de biomassa seca (g m^{-2}) de vegetação, horas ha^{-1} e salário (R$) referentes à primeira capina, de acordo com diferentes sistemas de manejo do solo em cultivo orgânico, Seropédica/RJ.

Preparo do solo	Biomassa seca*	Horas ha^{-1}	Salário
PD	36,48 a	214,09 a	2.007,36 a
PC-AG	6,17 b	142,05 a	1.331,70 a
PC-ER	12,62 b	136,49 a	1.279,63 a
CV (%)	16,78	24,58	24,58

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Friedman.

A capina no sistema de plantio direto demandou 70 horas a mais do que os preparos convencionais, que incluem o revolvimento do solo (Tabela 1). O custo com a mão de obra é correspondente ao salário dos funcionários, em relação às horas utilizadas pelos mesmos para efetuar a capina na área experimental. Por este motivo, o produtor terá um custo de aproximadamente R$730,00 a mais com o plantio direto, em comparação com o preparo convencional.

Tabela 2: Produção média de biomassa seca (g m^{-2}) de vegetação, horas ha^{-1} e salário (R$) referentes à segunda capina, de acordo com diferentes sistemas de manejo do solo em cultivo orgânico, Seropédica/RJ*.

Preparo do solo	Biomassa seca	Horas ha^{-1}	Salário
PD	75,51 a	55,69 a	1.459,64 a
PC-AG	47,17 a	137,46 a	1.288,74 a
PC-ER	45,44 a	132,99 a	1.246,74 a
CV (%)	30,02	22,09	22,09

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem significativamente (p>0,05) pela análise de variância.

No trabalho realizado por MATA (2012) evidenciou que o custo com o preparo mecanizado foi referente a R$ 760,00, no módulo experimental de hortaliças orgânicas em Seropédica/RJ. Em vista disso, o sistema plantio direto não despenderá gastos superiores ao preparo convencional, uma vez que o gasto com capina é inferior ao gasto com o preparo mecanizado do solo. Assim, observa-se que o sistema plantio direto pode ser mais econômico, como também contribui para a conservação do solo na lavoura, e isto poderá gerar valor agregado na cultura agrícola (CASTRO et al., 2005).

Na realização da segunda capina, obteve-se resposta diferente da primeira, uma vez que não se observou diferença significativa entre os tratamentos, para a biomassa seca (Tabela 2). É possível perceber um aumento de produção de biomassa no intervalo de uma capina para outra, na ordem de 51%, 86% e 72%, para o sistema de plantio direto, preparo convencional com aração e gradagem e enxada rotativa, respectivamente.

Com isto, verifica-se que os tratamentos que revolvem o solo têm seus benefícios mais pronunciados no início do ciclo da cultura, não permanecendo até o final ou no período crítico de competição entre as plantas. Na segunda capina, os efeitos sobre os custos de produção foram iguais, entre os manejos avaliados (Tabela 2). No tratamento com plantio direto, a diferença entre as capinas foi mais expressiva, sendo que a primeira capina demandou 60 horas a mais do que a segunda capina.

Este trabalho também confirma a importância do uso da adubação verde como plantas de cobertura, com vistas à diminuição do crescimento da vegetação espontânea, com base no aumento no intervalo de uma capina para outra. Efeitos similares também foram encontrados por ERASMO et al. (2004), estudo no qual se avaliou o controle de vegetação espontânea com o uso de adubos verdes. Os autores do estudo anteriormente citado também observaram maior produção de plantas espontâneas no decorrer dos dias, durante o ciclo da cultura de interesse.

Através deste estudo, pode-se inferir que o sistema de plantio direto tem potencial para ser inserido na agricultura orgânica, sendo capaz de favorecer a qualidade do solo conforme os resultados de Silva (2020). Ademais, conforme observado por SilVA JÚNIOR (2023), a produtividade da abóbora foi igual entre os tratamentos avaliados. Isso sugere que a vegetação espontânea não afetou a produção da hortaliça no sistema plantio direto comparado ao preparo convencional.

CONCLUSÕES

Os custos de produção no sistema de plantio direto com a vegetação espontânea foram similares aos tratamentos com revolvimento do solo, e não se verificou diminuição da produtividade da abóbora, em comparação com os preparos convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, C.M. et al. Plantio direto, adubação verde e suplementação com esterco de aves na produção orgânica de berinjela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 495-502, 2005.

ERASMO, E.A.L. et al. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 337-342, 2004.

HALDE, C.; BAMFORD, K.C.; ENTZ, M.H. Crop agronomic performance under a six-year continuous organic no-till system and other tilled and conventionally-managed systems in the northern Great Plains of Canada. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 213, p. 121-130, 2015.

JOKELA, D.; NAIR, A. No tillage and strip tillage effects on plant performance, weed suppression, and profitability in transitional organic broccoli production. **HortScience**, v. 51, p. 1103-1110, 2016.

MATA, M.G.F. **Qualidade do solo e avaliação microeconômica de um módulo experimental de produção orgânica intensiva de hortaliças**. 2012. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statisticalmcomputing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível: http://www.r-project.org

SILVA JUNIOR, J. B.; SILVA, F. C.; SILVA, C S. R. A.; GUERRA, J. G. M.; ARAUJO, E. S. Plantio direto de abóbora em sistema orgânico de produção. In: Marcos Gervasio Pereira, Everaldo Zonta. (Org.). **Agricultura, Mudanças Climáticas e Segurança Alimentar** - Anais do VI Simpósio ABC (Argentina-Brasil-Cuba). 1ed.Ponta Grossa (PR): Antena, 2023, v. , p. 1-407

SILVA, C. S. R. A; ARAÚJO, E. S. SILVA, C. Santos. R. A; PINHEIRO, E.F.M; SILVA, M. S. R. A;. A mini review on changes in soil attributes by management practices in organic vegetable production in Southeast Brazil. **International Journal of Horticulture**, v. 5, p. 7, 2021.

SILVA, C. S. R. A.**Qualidade do solo de um sistema de plantio direto de hortaliças, sob produção orgânica em Seropédica (RJ).** 2020. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência dos Solo), Programa de Pós-Graduação Agronomia-Ciência dos Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2020.

VAKALI, C.; ZALLER, J.G.; KÖPKE, U. Reduced tillage effects on soil properties and growth of cereals and associated weeds under organic farming. **Soil and Tillage Research**, v. 111, p. 133-141, 2011.

CAPÍTULO 10

EXPANSÃO DA AGRICULTURA ORGÂNICA NOS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS: UM BREVE PANORAMA NACIONAL

Data de aceite: 01/04/2024

Camilla Santos Reis de Andrade da Silva
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) (UFRRJ)

Nivaldo Schultz
Professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Renato Sinquini de Souza
Mestre do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) (UFRRJ)

Joyce Eugenio Perrut
Estudante de graduação em Licenciatura em Ciências Agrícolas (UFRRJ)

Bruno José Rodrigues Alves
Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Agrobiologia)

Ednaldo da Silva Araújo
Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Agrobiologia)

RESUMO: O objetivo do trabalho foi apresentar um panorama atual sobre o avanço da agricultura orgânica nos aspectos socioeconômicos no Brasil. A agricultura orgânica tem se destacado como uma alternativa sustentável ao modelo convencional de produção agrícola, impulsionando a sua expansão nos últimos anos. Essa forma de agricultura busca promover a saúde dos ecossistemas, preservar a biodiversidade e garantir a segurança alimentar, ao mesmo tempo em que valoriza as dimensões socioeconômicas. No âmbito ambiental, enfatiza a utilização de práticas agrícolas que minimizam o impacto negativo no meio ambiente, como por exemplo a priorização de práticas que favoreçam a qualidade do solo. A ausência de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, premissa básica desta agricultura, contribui com diminuição da contaminação dos solos e cursos d’água, preservando a qualidade da água e protegendo a fauna e flora local. Além disso, o manejo sustentável do solo favorece a sua fertilidade a longo prazo. Ademais, a demanda crescente por produtos orgânicos tanto em mercados internos quanto externos impulsiona a expansão da agricultura orgânica. Essa conscientização tem levado a um aumento da procura por alimentos orgânicos, criando oportunidades para produtores e estimulando a transição de sistemas convencionais para orgânicos.

PALAVRAS-CHAVE: agroecologia, meio ambiente, revisão.

EXPANSION OF ORGANIC AGRICULTURE IN ENVIRONMENTAL AND SOCIOECONOMIC ASPECTS: A BRIEF NATIONAL OVERVIEW

ABSTRACT: The work aimed to present a current overview of the socioeconomic aspects of the organic agriculture advancement in Brazil. Organic agriculture has stood out as a sustainable alternative to the conventional agricultural production model, driving its expansion in recent years. This agriculture model seeks to promote the health of ecosystems, preserve biodiversity and ensure food security, considering socioeconomic dimensions. Organic Agriculture emphasizes the use of agricultural practices that minimize the negative impact on the environment such as prioritizing practices that promote soil quality. The absence of pesticides and synthetic fertilizers, the basic premise of this agriculture, contributes to reducing soils and water contamination, preserving water quality and protecting local fauna and flora. Also, sustainable management favors soil fertility in the long term. Furthermore, there is a growing demand for organic products both in domestic markets and in the external push for the expansion of organic agriculture. This awareness has leading to an increased demand for organic foods, creating opportunities for producers and encouraging the transition from conventional to organic systems.
KEYWORDS: agroecology, environment, review.

INTRODUÇÃO

A revolução verde consistiu na difusão de tecnologias agrícolas para incrementar o rendimento das lavouras fundamentadas no uso intensivo da mecanização, de pesticidas e fertilizantes sintéticos (ALBERGONI; PELAEZ, 2007). Em função disso, na década de 70, devido aos efeitos nocivos da agricultura industrial, questionamentos e reflexões foram surgindo sobre a degradação do ambiental gerada pelo processo tecnológico (OCTAVIANO, 2010; SERRA; MENDES, 2016).

A partir disso, movimentos sociais contra ao uso excessivo de insumos industrializados foram se fortalecendo, por meio de uma abordagem de práticas agrícolas alternativas, baseadas na redução ou na eliminação dos insumos químicos e na conservação do solo (ALBERGONI; PELAEZ, 2007). Todavia, já havia mobilizações em 1920 em estudos sobre construção de uma agricultura de base ecológica (DALGAARD et al.,2003).

Com o avanço dos debates, a partir de 1985, profissionais e estudantes da época organizaram os primeiros encontros sobre “agricultura alternativa” no Brasil. Essas iniciativas promoveram a conscientização e capacitação de movimentos sociais ambientais e rurais. A agricultura alternativa reúne muitas correntes diferentes que se opõem ao modelo dominante, como a agricultura orgânica, natural, biológica e biodinâmica, permacultura etc. (COSTA et al., 2017).

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92, foi realizada no Rio de Janeiro em 1992. A partir desta

conferência, houve uma pressão maior por regulamentação por parte de certificadoras e exportadoras no Brasil.

Esses momentos históricos tiveram relevância para debates que culminaram no início da criação das legislações sobre a produção orgânica e que desencadeou o avanço mais pronunciado no país. O objetivo do presente trabalho foi apresentar um panorama atual sobre o avanço da agricultura orgânica nos aspectos socioeconômicos no Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Para sistematização das informações, foram realizadas consultas no banco de dados sistematizado pela Federação Internacional de Movimentos de Agricultura Orgânica (Ifoam) e pelo Instituto de Pesquisa de Agricultura Orgânica (FiBL), atualizado anualmente. Para realização da pesquisa bibliográfica, foram utilizados artigos científicos de relevância no país disponíveis nas principais bases de dados: *SciELO, Science Direct*, portal periódico capes e google acadêmico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira legislação sancionada sobre agricultura orgânica foi a Lei 10.831, tendo a regulamentação publicada em 27 de dezembro de 2007 com o Decreto Nº 6.323. Com este último decreto, é afirmado o reconhecimento de três mecanismos de garantia da qualidade orgânica: as organizações de controle social (OCS - envolvendo os agricultores familiares em venda direta), a certificação por auditoria e a organização participativa de avaliação da conformidade orgânica (OPAC) (BRASIL, 2003).

Além da contribuição com reconhecimentos de certificação, a Lei 10.831 orienta sobre as práticas agrícolas que devem ser seguidas pelos agricultores, bem como a aborda os princípios agroecológicos por traz de cada técnica em função dos benefícios para o meio ambiente (BRASIL, 2003). O crescimento da agricultura orgânica foi impulsionado principalmente a partir da criação desta legislação, com ganhos sobre os instrumentos necessários para assegurar ao consumidor a qualidade do produto orgânico, e gerou bons resultados notadamente sobre o reconhecimento dos sistemas de certificação da qualidade orgânica, a OPAC, destacando o Brasil como referência mundial sobre a criação desta forma de certificação (CANDIOTTO, 2018; GALHARDO et al., 2018).

A partir desta regulamentação, outras leis e instruções normativas foram elaboradas e atualizadas. Posteriormente, em 2009, foi publicado as instruções normativas que regulamentaram os diferentes escopos produtivos, adequando as normas técnicas a um país de clima tropical e de baixa renda, bem como atualizações sobre os procedimentos para registro de produtos fitossanitários e o desenvolvimento do selo oficial para OPAC.

Políticas públicas e leis para a agricultura familiar e para as comunidades tradicionais foram sendo elaboradas em função do crescimento e da pressão dos apoiadores da agroecologia e agricultura orgânica, Porém, ainda não havia uma política específica que respaldasse a produção de base agroecológica. Visto isso, a pauta da IV Marcha das Margaridas, em 2011, reivindicou ações em favor do desenvolvimento de um plano nacional para apoiar ações no campo da agroecologia e agricultura orgânica.

A demanda apresentada pela IV Marcha das Margaridas foi atendida pelo governo brasileiro, e a resposta se deu por meio da criação da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) (MCKAY; NEHRING, 2014), sendo considerado um dos principais instrumentos de política no país para agroecologia e reconhecido internacionalmente pelo pioneirismo na implementação de uma política pública dessa natureza (LIMA et al., 2020).

A PNAPO foi criada, em 2012, para fomentar ações governamentais direcionadas para promoção da transição agroecológica e a produção orgânica no país (COSTA et al., 2017; SANTOS et al., 2017). A partir do PNAPO foi construído o PLANAPO – Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica- para orientar as ações governamentais para investimentos estratégicos a partir dos vários ministérios que compõem a Câmara Intergovernamental de Agroecologia e Produção Orgânica (CIAPO) (SANTOS et al., 2017). Outras instituições também atuam efetivamente no incentivo à agricultura familiar de base agroecológica, tendo como referência os programas de compras institucionais -Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e o de Alimentação Escolar (Pnae) – que viabilizam oportunidades de mercado para os agricultores familiares. O PAA adquire os produtos orgânicos e agroecológicos de base familiar com preços diferenciados acima do valor dos produtos convencionais, em até 30% (CANAVESI et al., 2016).

Assim como o PAA, o PNAE também prioriza a aquisição de alimentos orgânicos e/ou agroecológicos, remunerando em até 30% a mais – em relação ao produto convencional – os agricultores familiares que vendem alimentos orgânicos ao programa. E, pelo menos 30% dos recursos destinados à compra de alimentos para a merenda escolar devem ser investidos na aquisição de produtos da agricultura familiar (SANTOS et al., 2017). A finalidade dos programas – PNAE; PAA; PNAPO - é estimular a transição da agricultura familiar para práticas de produção orgânica (LIMA et al., 2020; SAMBUICH et al., 2017).

Notadamente, a adoção de políticas públicas e leis mencionadas anteriormente, contribuíram para o avanço econômico e social na agricultura orgânica no Brasil Sambuich et al., 2017. Porém, CANDIOTTO (2018) destaca que apesar desse grande crescimento, a agricultura convencional continua sendo mais priorizada com as políticas orçamentárias brasileiras em comparação com os investimentos para agricultura orgânica e familiar.

Todavia, apesar do investimento comparativo abordado por Candiotto (2018), destaca-se mudanças significativas desde a inserção da primeira lei de regulamentação em 2003, como o aumento do número de produtores orgânicos, aumento de áreas agrícolas

certificadas ou em transição orgânica, bem como o aumento no consumo por alimentos orgânicos. Ações construídas descritas refletiram positivamente no país, um exemplo disso a liderança do Brasil sobre o mercado de alimentos orgânicos na América Latina (ESTEVES et al., 2021).

Somado a isso, a agroecologia tem como base o fortalecimento da agricultura familiar, reconhecendo seu papel para o desenvolvimento sustentável e para segurança alimentar, cujo importância também é reconhecida pela FAO. Recentemente, a organização declarou sua intenção em aumentar a escala de sistemas de produção baseados na agroecologia e reconheceu seu papel na Agenda 2030 (FAO, 2023; SAMBUICH et al., 2017).

Apesar da agricultura brasileira ser dominada e caracterizada pelas monoculturas de comodities de exportação, SAMBUICHI et al. (2017) destacaram em seu estudo a importância da legislação e a institucionalização de políticas públicas ao projetar o Brasil internacionalmente como um dos países que mais avançaram em favor da produção e comercialização orgânica. Visto isso, mesmo que em passos lentos, é notório a capacidade do país em alcançar a liderança mundial sobre a produção orgânica (VILELA et al., 2019).

Haja visto o potencial de crescimento do mercado brasileiro de orgânicos, de acordo com Willer et al. (2023) entre os anos de 2012 e 2019, houve uma alta sobre o número de produtores orgânicos cadastrados, tendo um salto de 5,9 mil para 17,7 mil. Concomitante, também cresceu o número de unidades de produção orgânica no Brasil, saindo de 5,4 mil (2010), para mais de 22 mil (2018), variação de mais de 300%.

Segundo dados preliminares do censo agropecuário de 2021, das 68.716 dos setores de produções certificadas, 39.643 se dedicavam à produção de hortaliças; 18.215 de produção animal e 10.858 estabelecimentos de produção ecológica de plantas e animais. O cadastro Nacional de Produtores Orgânicos do MAPA 2023 quantificou 25.097 produtores, distribuídos em todas as regiões brasileiras.

Dentre as regiões brasileiras, a região Sul se destaca sobre item de maior consumo de alimentos orgânicos e maior número de produtores e unidades agrícolas orgânicas (VILELA et al., 2019). Os cinco estados com maiores números destas referidas unidades são Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina e Piauí, que representavam aproximadamente 54% do total de unidades de produção no país.

Estima-se que o mercado de alimentos orgânicos no Brasil tenha movimentado cerca de 4 bilhões de reais em 2018 (WILLER et al., 2023). Boa parte desta expansão foi em função do aumento dos consumidores com desejo de consumir alimentos orgânicos. Eberle et al. (2022) destaca que as motivações para obter produtos orgânicos variam de acordo com valores culturais, morais, éticos, sociais, nutricionais e financeiro, mas principalmente, com a questão da saúde e meio ambiente (GALHARDO et al., 2018)

Todavia, o maior custo dos produtos orgânicos em relação aos convencionais -por causa do aumento dos custos de produção e certificação- limita o acesso a esses alimentos para consumidores de menor poder aquisitivo (CANDIOTTO, 2018). Outra dificuldade é

expandir a distribuição e acessar mercados internacionais. Embora a demanda nacional esteja crescendo, ainda há espaço para melhorias no alcance de uma base de consumidores mais ampla e na exploração de oportunidades de exportação (SANTOS et al., 2017).

CONCLUSÕES

Em síntese, o mercado de produtos orgânicos no Brasil está experimentando crescimento e desenvolvimento significativos, impulsionados pelo aumento da conscientização e demanda do consumidor, bem como através de regulamentos e programas de apoio para promover o crescimento no país. No entanto, persistem desafios relacionados a custos e acesso a mercados, que requerem mais atenção e inovação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERGONI, L.; PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**, v. 33, n. 1, 6 ago. 2007.

BRASIL. Decreto n. 10.831, de 23 de dez. de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências, Brasília, DF, dez 2003.

CANDIOTTO, L. Z. P. Organic products policy in Brazil. **Land Use Policy**, v. 71, p. 422–430, fev. 2018.

DA COSTA, M. B. B. et al. Agroecology development in Brazil between 1970 and 2015. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 41, n. 3–4, p. 276–295, 21 abr. 2017.

DALGAARD, T.; HUTCHINGS, N. J.; PORTER, J. R. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 100, n. 1, p. 39–51, 1 nov. 2003.

EBERLE, L. et al. Determinants and moderators of organic food purchase intention. **Food Quality and Preference**, v. 100, p. 104-609. 2022.

FAO. Food and Agriculture Organization. Agroecology and the Sustainable Development Goals (SDGs). Disponível em: https://www.fao.org/agroecology/overview/agroecology-and-the-sustainable development-goals/en. Acesso em: 19 out. 2023.

ESTEVES, R. C.; DO AMARAL VENDRAMINI, A. L.; ACCIOLY, F. A qualitative meta-synthesis study of the convergence between organic crop regulations in the United States, Brazil, and Europe. **Trends in Food Science & Technology**, v. 107, p. 343–357, 1 jan. 2021.

GALHARDO, L. R.; SILVA, L. F. S. DA; LIMA, Â. S. F. Produtores orgânicos no Brasil e seus organismos certificadores. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 37–45, 2018.

LIMA, S. K. et al. Produção e consumo de produtos orgânicos no mundo e no Brasil. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 2538. p. 7–43, 2020.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Em 7 anos, triplica o número de produtores orgânicos cadastrados no ministério.** Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/em-sete-anos-triplica-o-numero-de-produtores-organicos-cadastrados-no-mapa. Acesso em: 16 out. 2023.

MCKAY, B.; NEHRING, R; **Sustainable Agriculture: An Assessment of Brazil's Family Farm Programs in Scaling up Agroecological Food Production**. Working Paper No. 123, International Policy Centre for Inclusive Growth (IPC-IG), 2014.

OCTAVIANO, C. Muito além da tecnologia: os impactos da Revolução Verde. **ComCiência**, n. 120, p. 0–0, 2010.

SAMBUICHI, R. H. R. (ORGANIZADORA) et al. A Política nacional de agroecologia e produção orgânica no Brasil : uma trajetória de luta pelo desenvolvimento rural sustentável. **http://www.ipea.gov.br**, 2017.

SANTOS, L. et al. Políticas públicas para o comércio de produtos orgânicos no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 447–459, 2017.

SERRA, Letícia Silva et al. Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. **Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB**, v. 1, n. 4, p. 2-25, 2016.

VILELA, G. F. et al. Agricultura orgânica no Brasil: um estudo sobre o Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos. **Embrapa territorial**, p. 9–19, 2019.

WILLER, HELGA; SCHLATTER, BERNHARD; CZECH ORGANIC. The World og Organic Agriculture. Statistics and Emerrging Trends 2023. **FiBL & IFOAM – Organics International (2023): The World of Organic Agriculture.**, p. 1–359, 2023.

CAPÍTULO 11

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO MILHETO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO, SEM E COM A UTILIZAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM BRASILENSE*

Data de aceite: 01/04/2024

Carlos Rodolfo do Nascimento Castro
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA)

Francisca Claudia da Silva de Sousa
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA)

Renata Sousa Costa
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA)

George de Sousa Lima Paiva
Graduando do Departamento de Zootecnia (CAZOO)

Daniele de Jesus Ferreira
Professora do Departamento de Zootecnia (CAZOO)

Anderson de Moura Zanine
Professor do Departamento de Zootecnia (CAZOO)

RESUMO: Os períodos distintos de chuva e seca, influenciam diretamente a disponibilidade e qualidade da forragem. Assim, o uso de microrganismos promotores de crescimento, como o *Azospirillum brasilense* e o uso de silício, surgem como estratégia promissora para maximizar o rendimento de culturas. O solo é classificado como Argissolo vermelho-amarelo com textura franco-argilosa. A área totalizou 251m², com 40 parcela. Para a inoculação foi usado de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 mL do Inoculante GRAP NOD A L. A aplicação de Si foi parcelada em 6 vezes: três durante o estádio vegetativo e três no reprodutivo. Foi utilizado o silicato de sódio estabilizado com sorbitol. Foram avaliadas o comprimento de panícula(cm), diâmetro de panícula(mm), altura da planta(cm), altura da planta até a folha bandeira(cm), diâmetro do colmo(mm), número de perfilhos reprodutivos e número de perfilhos vegetativos. Utilizou-se blocos casualizados com 8 tratamentos e 5 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e, ajustadas ao modelo linear ou quadrático via análise de regressão. Observou-se efeito isolado ($P < 0,05$) para as variáveis comprimento da panícula ($P=0,010$) (CP) e diâmetro da panícula (DP) ($p=0,041$), em que as maiores médias foram observadas quando relacionadas ao uso da *Azospirillum.* A inoculação com *Azospirillum brasilense* foi eficiente para melhorar as características morfológicas do milheto em relação ao diâmetro e comprimento de panícula.

PALAVRAS-CHAVE: colmo, panícula, solo

EVALUATION OF THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MILLET WITH DIFFERENT DOSES OF SILICON, WITHOUT AND WITH THE USE OF *AZOSPIRILLUM BRASILENSE*

ABSTRACT: In the tropics, seasonal variation is marked by distinct periods of rain and drought, directly influencing the availability and quality of forage in the pasture. The soil in the experimental area is classified as red-yellow Argissolo with a loamy-clay texture. The experimental area totaled 251m², with 40 plots of 6m² (3x2m) each, spaced 0.5m apart between rows and 0.5m apart, following a spacing of 0.5m between plots and 1m between blocks. To inoculate the seed, 0.5 kg of seed was weighed and inoculated with 2 ml of GRAP NOD A L Inoculant (1.5LT = 15 doses) - Azospirillum Brasilense -Agrocete. Si was applied in 6 installments: three times during the vegetative stage and three times during the reproductive stage of the millet crop. The Si source used was sodium silicate stabilized with sorbitol (Si = 115.2 g L-1, Na2O = 60.5 g L-1). For the morphological evaluations, two plants were selected from each plot, totaling 80 plants evaluated for panicle length (cm), panicle diameter (mm), plant height (cm), height from the plant to the flag leaf (cm), stem diameter (mm), number of reproductive tillers and number of vegetative tillers. A randomized block design was used with eight treatments and five replications. The data was subjected to analysis of variance at a 5% probability level and, when the F test was significant, the means were fitted to the linear or quadratic model via regression analysis

KEYWORDS: panicle, soil, thatch

INTRODUÇÃO

Nos trópicos, a variação sazonal é marcada por períodos distintos de chuva e seca, influenciando diretamente a disponibilidade e qualidade da forragem no pasto. Esse fenômeno sazonal impõe desafios à manutenção de rebanhos, já que a escassez de pasto durante a estação seca compromete a nutrição dos animais, resultando em queda na produção. Nesse contexto, a utilização de silício associado ao *Azospirillum* emerge como uma estratégia eficaz para contornar as limitações impostas pela sazonalidade.

Entre as diversas qualidades para o crescimento do cultivo dessa forrageira estão: adaptação a solos de baixa e média fertilidade; sistema radicular vigoroso e abundante; e produção de biomassa verde que chega até 70 t ha^{-1} (PEREIRA FILHO et al., 2003; QUEIROZ et al., 2012). Ainda que a cultura apresente boa tolerância ao déficit hídrico é importante que as plantas recebam uma quantidade mínima de água para seu desenvolvimento e, se não houver restrições, o crescimento será mais acelerado (CROOKSTON et al., 2020; SHRESTHA et al., 2023). Quando comparado às culturas de milho e sorgo, o milheto mostra-se mais eficiente no uso de água, necessitando de 300 a 400 g de água para produzir 1 g de matéria seca (GUIMARÃES, 2006).

Desse modo, a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis, baratas e eficientes tem impulsionado a exploração de alternativas que otimizem a produção de forragens utilizadas na alimentação animal. Nesse contexto, o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal, como o *Azospirillum brasilense* e o uso de silício, surgem como estratégia promissora para maximizar o rendimento de culturas forrageiras.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo presente na área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo com textura franco-argilosa (SANTOS et al., 2018). Foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, as amostras foram submetidas a análises para a caracterização química e textural do solo.

A correção do solo foi realizada conforme a necessidade, com base na análise de solo. O calcário usado foi o calcário dolomítico, com o PRNT de 115,10%, sendo indicado 2,3 t ha^{-1}, quantidade recomendada para elevar a saturação de bases para 60%, de acordo com as recomendações para o cultivo do milheto.

A adubação de plantio (NPK) foi realizada de forma manual, seguindo-se as necessidades dispostas na análise de solo. As quantidades foram de 20 kg de N/ha, 100 kg de P_2O_5/ha e 30 kg de k_2O/ha. As características granulométricas registradas foram de 70% de areia, 21% de argila e 9% de silte.

A área experimental totalizou 251 m², com 40 parcelas de 6 m² (3x2 m) cada, apresentando espaçamento 0,5 m entre linhas e 0,5 m entre covas, seguindo um espaçamento de 0,5 m entre parcelas e 1 m entre blocos. Cada parcela foi composta de 20 plantas, totalizando 800 plantas em toda a área experimental e 31.8723 plantas ha^{-1}. A semeadura ocorreu de forma manual, as covas foram abertas com o auxílio de enxada de modo que a abertura chegasse a aproximadamente 3-5 cm de profundidade. Para a inoculação da semente foi realizada a pesagem de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 mL do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) - *Azospirillum brasilense* – Agrocete.

O fornecimento de Si foi realizado via fertilização, iniciando-se aos 20 dias após completa emergência das plantas até 30 dias após florescimento pleno. A aplicação de Si foi parcelada em 6 vezes: três durante o estádio vegetativo e três no reprodutivo da cultura do milheto. A fonte de Si utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol (Si = 115,2 g L^{-1}, Na_2O = 60,5 g L^{-1}). Para a diluição do silício foi utilizada uma caixa d'água de 1000 L, em que foram destinados 70 L de diluição para cada um dos respectivos tratamentos (0; 4; 8 e 12 kg de silício). Cada planta recebeu 0,700 mL da diluição.

Para manter a umidade do solo a área foi irrigada duas vezes ao dia (6:00 e 17:00 h) durante o período experimental. Para a irrigação foram utilizadas 5 fitas de irrigação (28,5 mm) microperfuradas, na área experimental as fitas foram distribuídas de maneira que permanecesse uma fita no centro de cada bloco. O tempo de irrigação foi de 15 minutos a cada duas fitas.

Para as avaliações morfológicas foram selecionadas duas plantas de cada parcela totalizando 80 plantas avaliadas quanto ao comprimento de panícula (cm): foi determinado com régua graduada em milímetros, mensurada da base até o ápice da panícula; diâmetro de panícula (mm): medido com um paquímetro, tomando-se a medida na parte central da panícula; altura da planta (cm): foi determinada com fita milimetrada, tomando-se a medida da superfície do solo até a altura máxima da última folha; altura da planta até a folha bandeira (cm): foi determinada com fita milimetrada, tomando-se a medida da superfície do solo até a inserção da folha bandeira; diâmetro do colmo (mm): medido com auxílio de um paquímetro, no terceiro nó da planta a partir do solo; número de perfilhos reprodutivos: foi determinado realizando a contagem de todos os perfilhos reprodutivos presentes em toda a parcel; número de perfilhos vegetativos: foi determinado a partir da contagem de todos os perfilhos vegetativos presentes em toda a parcela.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com oito tratamentos e cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e, quando o teste F foi significativo, as médias foram ajustadas ao modelo linear ou quadrático via análise de regressão. Foi utilizado o PROC MIXED do software estatístico SAS (2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito isolado ($P < 0,05$) para as variáveis comprimento da panícula ($P=0,010$) (CP) e diâmetro da panícula (DP) ($p=0,041$), em que as maiores médias (30,62 e 28,15 mm) foram observadas quando relacionadas ao uso da *Azospirillum* (Tabela 1).

A ação das giberelinas e auxinas podem interferir na expansão das células vegetais, causando alongamento da parte área da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, é possível afirmar que o comprimento da panícula (CP) e diâmetro da panícula foram diretamente influenciados pela inoculação com *A. brasilense*, pois além das auxinas e giberelinas, a bactéria é capaz de fornecer parte do N exigido pela cultura impactando de maneira positiva a produtividade (HUNGRIA et al., 2010; FUKAMI et al., 2018).

Tabela 1: Avaliação das características morfológicas do milheto com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de *Azospirillum brasilense*

Item	Níveis de Silício (kg ha^{-1})				*Az. brasilense*			Si	AB	Si x *Ab*
	0	4	8	12	Sem	Com	EPM			
NPR	4,90	7,10	6,90	7,10	6,7	6,30	0,459	0,079	0,560	0,854
NPV	1,50	2,00	1,42	1,30	1,21	1,90	0,107	0,715	0,140	0,007
CP	28,85	29,36	29,92	28,70	$27,79^{b}$	$30,62^{a}$	0,701	0,837	0,010	0,963
DP	28,84	27,44	26,37	24,56	$25,45^{b}$	$28,15^{a}$	0,547	0,128	0,041	0,084
APFB	112,00	105,30	114,72	113,70	112,36	110,50	3,504	0,579	0,722	0,001
DC	12,37	11,39	11,32	12,26	11,44	12,22	0,853	0,136	0,059	0,029
AP	133,30	138,80	133,37	137,86	132,83	139,13	3,412	0,829	0,222	0,396

NPR: números de perfilho reprodutivos, NPV: número de perfilho vegetativos, CP: Comprimento de panícula, DP: Diâmetro de panícula, APFB: Altura da planta até a folha bandeira, DC: Diâmetro do colmo, AP: Altura da planta.

Os estudos que investigaram a inoculação em plantas de sorgo apresentam uma presença mais reduzida na literatura científica relacionada a bactérias diazotróficas, totalizando 59 em comparação com outras culturas, especialmente quando contrastado com o milho e o trigo (PACOVSKY et al.,1985; GARCÍA-OLIVARES et al., 2006; PEÑA, 2008; NAKAO et al., 2018). Assim como no milho, os efeitos manifestam-se com maior ou menor intensidade, dependendo da interação entre os genótipos da planta e as bactérias. O aumento observado no comprimento das panículas pode resultar em um incremento na produtividade de grãos quando as plantas são inoculadas. A relevância da inoculação nessa cultura é substancial, considerando a ampla distribuição geográfica do cultivo e as diversas finalidades de uso do milheto, notadamente na alimentação animal.

CONCLUSÕES

A inoculação com *Azospirillum brasilense* foi eficiente para melhorar as características morfológicas do milheto em relação ao diâmetro e comprimento de panícula.

AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CROOKSTON, B.; BLASER, B.; DARAPUNENI, M. et al. Pearl millet forage water use efficiency. **Agronomy**, v. 10, n. 11, 2020.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **Amb Express**, v. 8, n. 1, p. 73, 2018.

GARCÍA-OLIVARES, J. et al.. Azospirillum brasilense biofertilization in sorghum at northern Mexico. **Agricultura técnica en México**, v. 32, n. 2, p. 135–141, 2006.

GUIMARÃES JÚNIOR, R. **Avaliação nutricional de silagem de milheto [Pennisetum (L). R. Br.]**. 90p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 2006.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M., et al. Inoculation with selected strains of Azospirillum brasilense and A. lipoferum improves yields of maize and wheat in **Brazil. Plant Soil** 331:413-425. 2010.

NAKAO, A.L. et al. Intercropping Urochloa brizantha and sorghum inoculated with Azospirillum brasilense for silage. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 49, n. 3, p. 501– 511, 2018.

PACOVSKY, R. S.; PAUL, E. A.; BETHLENFALVAY, G. J. Nutrition of sorghum plants fertilized with nitrogen or inoculated withAzospirillum brasilense. **Plant and Soil**, v. 85, n. 1, p. 145–148, 1985.

PEÑA, M. A. A.; DÍAZ FRANCO, C.; HERNÁNDEZ J.H. Sorghum productivity in the field associated with arbuscular mycorrhiza and Azospirillum brasilense. **Universidad y Ciencia**, v. 24, n. 3, p. 229–237, 2008

PEREIRA FILHO, I. A.; FERREIRA, A. S.; COELHO, A. M.; et al. Manejo da cultura do milheto. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 29), 2003.

QUEIROZ, D. S.; SANTANA, S. S.; MURÇA, T. B. et al. Cultivares e épocas de semeadura de milheto para produção de forragem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 2, p. 318-329, abr./jun. 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa. **Revista e ampliada**, 256p. 2018.

SAS. SAS 9.0 user’s guide. v. 4 ed. Cary, NC: SAS Institute, 2004

SHRESTHA, N.; HU, H.; SHRESTHA, K. et al. Pearl millet response to drought: A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1059574, 2023.

TAIZ, L., AND ZEIGER, E. **Plant physiology. Artemed**, Porto Alegre, Brasil. 2013

CARACTERIZAÇÃO DE FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS DE MONTANHA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Data de aceite: 01/04/2024

Cyndi dos Santos Ferreira
Mestranda do Programa de Pós-graduação Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Sandra Santana de Lima
Pós-doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Aurea Pinto dos Ramos
Doutoranda do Programa de Pós-graduação Agronomia Ciências do Solo (UFRRJ)

Ana Beatriz Gonçalves Vasques da Silva
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Irene da Silva Coelho
Professora do Departamento de Microbiologia e Imunologia Veterinária (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: A manutenção e preservação dos atributos do solo é essencial para garantir a qualidade do ambiente. Porém um dos principais desafios encontrados é o estabelecimento de indicadores que avaliem o grau de degradação do agroecossistema. Diante disso, o objetivo deste estudo é avaliar as frações físicas de matéria orgânica do solo em diferentes áreas da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Foram selecionadas três áreas localizadas no município de Nova Friburgo, a saber: uma com produção de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e outra com milho (*Zea mays* L.), além de uma área com floresta secundária, e coletadas amostras de terras, com quatro repetições por área. Foram determinados os teores de carbono orgânico particulado (COp) associado à fração areia, o carbono orgânico total (COT) e o associado aos minerais (COam). Os valores de COT foram de 18,35 g kg^{-1} na área de tomate e 16,32 g kg^{-1} na área de milho. Os teores de COp variaram de 2,61 g kg^{-1} e 1,74 g kg^{-1} nas áreas de tomate e milho, respectivamente. Já os teores de COam foram de 15,74 g kg^{-1} para o cultivo de tomate e 14,58 g kg^{-1} no cultivo de milho. Em relação aos teores de COT, COp e COam não foi observada diferença entre as

áreas de cultivo, porém pode-se observar menores valores nestas áreas quando comparadas a área de floresta, indicando que os manejos adotados não estão propiciando o acúmulo de material orgânico nos solos.
PALAVRAS-CHAVE: atributos do solo, desenvolvimento sustentável, indicadores ambientais.

CHARACTERIZATION OF FRACTIONS OF SOIL ORGANIC MATTER IN MOUNTAIN AREAS IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO

ABSTRACT: The maintenance and preservation of soil attributes is essential to guarantee the quality of the environment. However, one of the main challenges encountered is the establishment of indicators that assess the degree of manipulation of the agroecosystem. Therefore, the objective of this study is to evaluate the physical fractions of soil organic matter in different areas of the Mountain Region of the State of Rio de Janeiro. Three areas located in the municipality of Nova Friburgo were selected, namely: one with tomato production (*Solanum lycopersicum* L.) and another with corn (*Zea mays* L.), in addition to an area with secondary forest, and land samples were collected, with four repetitions per area. The levels of particulate organic carbon (COp) associated with the sand fraction, total organic carbon (TOC) and that associated with minerals (COam) were determined. TOC values were 18.35 g kg^{-1} in the tomato area and 16.32 g kg^{-1} in the corn area. COp contents varied from 2.61 g kg^{-1} and 1.74 g kg^{-1} compared to the tomato and corn area, respectively. The COam levels were 15.74 g kg^{-1} for tomato cultivation and 14.58 g kg^{-1} for corn cultivation. In relation to the TOC, COp and COam contents, no difference was observed between the cultivation areas, however, lower values can be observed in these areas when compared to the forest area, reducing the fact that the management adopted is not allowing the accumulation of organic material in the alone.
KEYWORDS: environmental indicators, soil attributes, sustainable development.

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural fundamental para a humanidade, condicionando e sustentando a produção de alimentos, bem como regulando o movimento global dos ecossistemas (FAGERIA; STONE, 2006; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Porém, com o aumento da população e a crise de alimentos em todo o mundo, o manejo intensivo do solo e o uso de insumos como pesticidas e fertilizantes tornaram-se práticas comuns para o aumento da produção agrícola. Dessa forma, o uso sustentável dos recursos naturais, como o solo e a água, tem se tornado matéria de crescente interesse e relevância, visto o aumento das atividades antrópicas, gerando a maior atenção para o uso sustentável e qualidade desses recursos (ARAÚJO;MONTEIRO, 2007).

Tendo em vista o cenário atual das regiões do Estado do Rio de Janeiro, os diferentes históricos de uso e ocupação, e ainda a vulnerabilidade de algumas paisagens, é fundamental compreender e ter conhecimento sobre a qualidade ambiental e seu grau de degradação. Os solos rurais da região são usados predominantemente por pastagens,

contendo pecuária de leite e corte, seguido pelo preenchimento de remanescentes florestais, cana-de-açúcar, fruticultura, café, milho, eucalipto, mandioca, olerícolas (CARVALHO FILHO et al., 2003). Dessa forma, ter conhecimento sobre a qualidade desses ambientes é importante, pois permite manejá-lo de maneira adequada e aperfeiçoar técnicas que visem sua preservação, podendo resultar no aumento de produtividade, além de colaborar com a conservação da qualidade ambiental (ARAÚJO et al., 2012).

Diante disso, a região serrana do Estado do Rio de Janeiro apresenta grande importância, sendo considerada pólo de produção agrícola da região, responsável por 83% da produção de oleráceas do Estado, destacando-se a região de Nova Friburgo (CARDOZO et al., 2008), sendo caracterizada por relevos montanhosos. Os ambientes de montanha são fontes importantes de fornecimento e armazenamento de água, energia e diversidade biológica, sendo considerados centros de biodiversidade e endemismo com diversos ecossistemas considerando sua grande variação topográfica (FORMOSO, 2014). Nesse sentido, a preservação e monitoramento desses ambientes é primordial, considerando as características dessas regiões, como topografia, susceptibilidade às variações climáticas, além da presença de solos rasos, algumas limitações podem influenciar no desenvolvimento local, como problemas relacionados aos deslizamentos de terra e processos erosivos (CERQUEIRA et al., 2018).

Considerando a importância de avaliação do manejo por meio dos atributos dos solos dessas áreas, é fundamental estudos com objetivo de propor indicadores agroambientais de monitoramento e recomendações que visem um manejo com melhores orientações de uso das terras. Nesse sentido, a seleção de indicadores é fundamental para a avaliação da qualidade do solo, assim, os indicadores físicos são essenciais, pois possibilitam analisar as alterações decorrentes de atividades antrópicas, bem como auxiliam na caracterização da situação atual, atentando-se para riscos futuros (SILVA et al., 2020). Diante da importância da qualidade do solo, o objetivo do trabalho é avaliar as frações físicas de matéria orgânica do solo em diferentes áreas da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, no município de Nova Friburgo. Foram selecionadas três áreas, sendo duas áreas de produção agrícola: cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e outra com milho (*Zea mays* L.), e ainda uma área de fragmento florestal, com baixo grau de intervenção antrópica. Em cada uma das áreas foram coletadas quatro amostras compostas de solo, formadas pela homogeneização de cinco amostras simples, nas profundidades de 0-10, com quatro repetições por área. Após a coleta, as amostras foram levadas para laboratório, secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2,00 mm de malha, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA).

A partir da TFSA foram pesados 20 g de amostras e transferidos para tubos plásticos, sendo adicionado 60 mL de solução de hexametafosfato de sódio (5g L^{-1}) e submetidos à homogeneização com o auxílio de agitador horizontal por 15 horas (Cambardella e Elliot, 1992). Posteriormente, o material foi passado em peneira de 53 μm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira corresponde ao carbono orgânico particulado (COp) associado à fração areia. Esse material foi seco em estufa à 65ºC, quantificado em relação a sua massa, triturado em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de carbono orgânico total (COT) segundo YEOMANS; BREMNER (1988). A fração COam, que corresponde ao carbono associado as frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COp.

Os dados foram analisados quanto a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste de F (ANOVA) quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos e as médias comparadas pelo teste de T de Bonferroni a 5% de probabilidade, pelo software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que se refere às frações da matéria orgânica, para os teores de COT, COp e COam não foram observadas diferenças entre as áreas de cultivo (Tabela 1). Os valores de COT variaram de 18, 35 g kg^{-1} a 16,32 g kg^{-1} entre as áreas, sendo os maiores valores observados na área de cultivo de tomate. Em ambos os cultivos não foram verificados acúmulo de material vegetal sobre o solo, o que pode ter resultado nos baixos teores de COT no solo, quando comparados com a área de floresta, na qual foi observado o maior valor de COT (30,88 g kg^{-1}). Padrão que pode estar relacionado ao maior aporte de serapilheira sobre o solo associado ao não revolvimento do solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica.

Tabela 1: Caracterização das frações da matéria orgânica do solo, na profundidade de 0 – 10 cm, nas áreas de cultivo de tomate e milho, e área de Floresta em Nova Friburgo, RJ.

Áreas	COT	COp	COam
Tomate	18,35 a	2,61 a	15,74 a
Milho	16,32 a	1,74 a	14,58 a
Floresta	30,88	4,46	26,42
CV (%)	11,42	45,78	16,95

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste t de Bonferroni a 5% de significância. COp: Carbono orgânico particulado; COT: Carbono orgânico total; COam: Carbono orgânico associado aos minerais.

Em relação aos teores de COp, não houve diferença entre as áreas cultivadas, com valores de médias de 2,61 g kg^{-1} na área com cultivo de tomate e 1,74 g kg^{-1} na área com cultivo de milho. A manutenção dessa fração no solo está condicionada à proteção física desempenhada pelos agregados do solo (NANZER et al., 2019), dessa forma a manutenção dos valores de COp em áreas de cultivo é dependente da capacidade de cada sistema em proporcionar maior adição de resíduos na superfície do solo (FACCIN et al., 2016), associado a práticas de manejo que contribuam para uma maior proteção dessa fração. Os maiores valores foram observados na área de floresta (4,46 g kg^{-1}), tendo em vista o acúmulo de serapilheira nesses ambientes.

Considerando os valores de COam, verifica-se que estes também não diferiram entre as áreas de cultivo, valores de 15,74 g kg^{-1} na área de tomate e 14,58 g kg^{-1} na área de milho. O COam é a fração da matéria orgânica do solo (MOS) associada às frações silte e argila do solo, sendo definida como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, protegida pelo mecanismo de estabilização coloidal (LOSS et al., 2009). Os teores de COam foram mais baixos nas áreas de cultivo, quando comparado com a área de floresta, visto que ambientes que não foram submetidos ao revolvimento do solo promovem uma maior estabilidade da matéria orgânica nesse compartimento (NANZER et al., 2019).

CONCLUSÃO

Os baixos teores das frações da MO (COT, COp e COam), em ambas as áreas de cultivo, indicam que as práticas de manejos adotadas não estão promovendo acúmulo de matéria orgânica no solo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. S. F. E; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, L. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

CAMBARDELLA C. A; ELLIOTT E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2003.

CARDOZO, S. V.; PEREIRA, M. G.; RAVELLI, A.; LOSS, A. Caracterização de propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico e natural na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 29, n. 3, p. 515-527, 2008.

CERQUEIRA, H.; ASSIS, R. L.; ALMEIDA, L. H. M.; GUERRA, J. G. M.; AQUINO, A. M. Estratégias agroecológicas para a segurança alimentar em ambientes de montanha em Teresópolis–RJ (Brasil). **Nativa**, v. 6, n. 6, p. 654-659, 2018.

FACCIN, F. C.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; ENSINAS, S. C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. , p. 2000-2009, 2016.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Qualidade do solo e meio ambiente. Santo Antônio de Goiás, **Embrapa Arroz e Feijão**, 2006.

FORMOSO, D. M. L. **Identificação e estudo das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no Sinclinal Moeda (MG) com base nos serviços ecossistêmicos**. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

LOSS A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C. D.; SILVA, E. M. R. D. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v. 39, n. , p. 1067-1072, 2009.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P.; SILVA, J. R. M.: PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

SILVA, M.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; FREITAS PEREIRA, D., & SILVA COSTA, K. D. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v.19, n. , p.1467-1476, 1988.

DISSOLUÇÃO DO FÓSFORO E DO POTÁSSIO DO ORGANOMINERAL PRODUZIDO COM CASCALHO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO *ONSHORE*

Data de aceite: 01/04/2024

Dieini Melissa Teles dos Santos
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

Luane Lima Souza
Graduada em Agronomia (UFRRJ)

Juliana Itaborahy da Costa
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Heraldo Namorato de Souza
Pesquisador do CENPES/PETROBRAS

Everaldo Zonta
Professor do Departamento de Solos do Instituto Agronomia (UFRRJ)

Wagner de Souza Tassinari
Professor do Departamento de Matemática do Instituto de Ciências Exatas (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar a dissolução dos nutrientes do fertilizante organomineral (FOM) produzido com cascalho de perfuração de poços de petróleo *onshore* como matriz mineral e torta de mamona como matriz orgânica. Os ensaios foram conduzidos no Laboratórios de Estudos das Relações Solo-Planta da UFRRJ. Inicialmente, foi determinado os teores pseudototais dos resíduos. Em seguida, foi realizada a produção dos pellets do FOM. Para o ensaio de dissolução foi adotado um delineamento inteiramente casualizado com três fertilizantes (FOM, cloreto de potássio e superfosfato triplo) x cinco tempos (15, 30, 60, 120 e 240 min) x três repetições. Para o ensaio de dissolução foram pesadas triplicatas dos fertilizantes com massa conhecida de K e P e colocados em béquer com 500 mL de água destilada e à 50 rpm. Foi pipetado uma alíquota de 10 mL em cada tempo e em seguida, foi reposto 10 mL de água destilada. A determinação do K e do P foi realizada por espectrofotometria de chamas e colorimetria, respectivamente. Foi realizado uma análise descritiva dos dados transformados por raiz e a ANOVA de uma via com medidas repetidas ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas através do software R® v.4.3.1. Foi observado que os nutrientes do FOM são liberados lentamente. O tempo influencia na taxa de liberação dos nutrientes do FOM. O K manteve concentração constante de 1,9% após 60 min de dissolução do FOM. O P assumiu um comportamento de liberação gradativa ao longo do tempo.

PALAVRAS-CHAVE: ANOVA com medidas repetidas, cinética de liberação de nutrientes, fertilizante de liberação lenta, taxa de liberação

DISSOLUTION OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM FROM ORGANOMINERAL PRODUCED WITH GRAVEL FROM ONSHORE OIL WELL DRILLING

ABSTRACT: The objective of the work was to evaluate the dissolution of nutrients from organomineral fertilizer (FOM) produced with drilling gravel from onshore oil wells as a mineral matrix and castor bean cake as an organic matrix. The tests were conducted at the Soil-Plant Relations Studies Laboratories at UFRRJ. Initially, the pseudototal residue levels were determined. Then, the production of FOM pellets was carried out. For the dissolution test, a completely randomized design was adopted with three fertilizers (FOM, potassium chloride and triple superphosphate) x five times (15, 30, 60, 120 and 240 min) x three replications. For the dissolution test, triplicates of fertilizers with known mass of K and P were weighed and placed in a beaker with 500 mL of distilled water at 50 rpm. A 10 mL aliquot was pipetted at each time and then 10 mL of distilled water was replaced. The determination of K and P was carried out by flame spectrophotometry and colorimetry, respectively. A descriptive analysis of the root-transformed data and one-way ANOVA with repeated measures ($p \leq 0.05$) were performed. The analyzes were carried out using the R® v.4.3.1 software. It has been observed that nutrients from FOM are released slowly. Time influences the rate of release of nutrients from FOM. K maintained a constant concentration of 1.9% after 60 min of FOM dissolution. P assumed a gradual release behavior over time.
KEYWORDS: nutrient release kinetics, release rate, slow release fertilizer

INTRODUÇÃO

A agricultura no Brasil é um dos setores com maior participação no crescimento do PIB respondendo a 21% da soma de riquezas produzidas, um quinto dos empregos e 43,2% das exportações (EMBRAPA, 2020). Todavia, existe um gargalo quanto ao suprimento de fertilizantes produzidos nacionalmente que atendam a demanda do país, sendo a maior parte dele, importada. De acordo com dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em 2022 foram descarregadas 4.552 mil toneladas representando 26% do total importado pelos portos.

Os fertilizantes são produtos que podem ser obtidos a partir de fontes orgânicas como restos culturais e dejetos animais ou a partir de fontes minerais, combinados ou não que tem como objetivo suprir os nutrientes que são essenciais para o desenvolvimento das plantas (ZONTA, 2021). No que tange os fertilizantes organominerais (FOMs), estes são constituídos de uma parte mineral e outra orgânica. Os FOMs possuem uma quantidade significativa de nutrientes como N, P e K, portanto, sua quantidade demandada pode ser substancialmente semelhante em comparação a fertilizantes comuns, gerando economia (DINIZ, 2019).

Além da reutilização de subprodutos para a formulação, outros benefícios são atribuídos ao uso dos organominerais, como a liberação gradual dos nutrientes. Um fertilizante de liberação lenta fornece os nutrientes de acordo com a demanda da planta, minimiza perdas de nutrientes por lixiviação e volatilização, reduzindo o impacto ambiental e os custos de produção (SHAJI et al., 2021).

O objetivo do trabalho foi avaliar a dissolução dos nutrientes do fertilizante organomineral produzido com cascalho de perfuração de poços de petróleo *onshore* como matriz mineral e torta de mamona como matriz orgânica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos no Laboratórios de Estudos das Relações Solo-Planta (LSP) do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica – RJ. O trabalho foi desenvolvido em três etapas e os resíduos utilizados na produção do FOM foram a torta de mamona e o cascalho de perfuração de poços de petróleo onshore. Na primeira etapa, foi realizado a caracterização dos teores pseudototais de fósforo (P) e potássio (K) presente nos resíduos por meio da metodologia USEPA 3050b (1996). O K do extrato foi determinado por espectrofotometria de chamas e o P por colorimetria. Com base nas concentrações de cada elemento, foram calculadas as massas necessárias para a condução do ensaio de dissolução. Na segunda etapa, foi realizada a formulação do FOM na proporção de quatro partes de cascalho para seis partes de torta de mamona. O equipamento utilizado foi a peletizadora modelo CSF 200/260 mm com capacidade de produção de até 350 kg h^{-1}, capaz de produzir pellets com diâmetro de 2 mm e comprimento de 0,5 mm. Na terceira etapa, foi realizado o ensaio de dissolução do FOM, em delineamento inteiramente casualizado com três fertilizantes (FOM, cloreto de potássio e superfosfato triplo) x cinco tempos (15, 30, 60, 120 e 240 min) x três repetições. Foram pesadas triplicatas com massa conhecida de 0,294 g de K_2O e 0,190 g de P_2O_5. Para a realização do ensaio as amostras foram colocadas em béquer com volume de 500 mL de água destilada e deionizada. Para avaliar a taxa de liberação do K e P, foi pipetado uma alíquota de 10 mL dos extratos nos tempos estabelecidos. Após cada pipetagem, foi reposto 10 mL de água destilada e deionizada. Após cada pipetagem, os extratos foram filtrados e acondicionados em tubo falcon de 50 mL. A determinação dos teores de K e P foi realizado por espectrofotometria de chamas e colorimetria, respectivamente, conforme o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (MAPA, 2017). O equipamento utilizado foi o dissolutor Jar-test 218/2LDB, com haste em aço inox em uma velocidade de 200 rpm, para o presente ensaio foi utilizado a rotação de 50 rpm. Foi avaliado a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e a identificação de *outliers*. Em seguida foi realizado a Análise de Variância de uma via com medidas repetidas no tempo por meio da estatística de teste F, utilizando a biblioteca "ez" (LAWRENCE, 2016)

para avaliar a diferença estatística entre a mesma medida analisada em mais de dois momentos. Inicialmente, foi verificado a esfericidade dos dados pelo teste de Mauchly, e não havendo esfericidade foi realizado a correção dos dados pelo teste de Greenhouse-Geisser. Os dados esféricos foram submetidos ao teste t pareado corrigido pelo ajuste de Bonferroni para comparação entre pares. Os dados foram transformados por raiz quadrada e foi considerado um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas através do software R® v.4.3.1 (R CORE TEAM, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a distribuição da taxa de liberação dos nutrientes por grupo, de maneira geral, nota-se que o K apresentou pouca variabilidade entre os tratamentos (Figura 1). Observa-se também que houve menor liberação do elemento no FOM quando comparado ao mineral. Em um estudo conduzido em casa de vegetação com solo incubado, realizado por PIASSA (2020), observou uma liberação mais lenta de K em fontes de base orgânica, resultando em tratamento que apresentam diferenças significativas em relação às fontes minerais.

Com relação ao P, de maneira geral observa-se que os tratamentos apresentaram grande variabilidade e presença de *outliers* no tratamento mineral. Quanto a concentração do nutriente em solução, nota-se que o teor de P foi menor no organomineral quando comparado ao mineral (Figura 1).

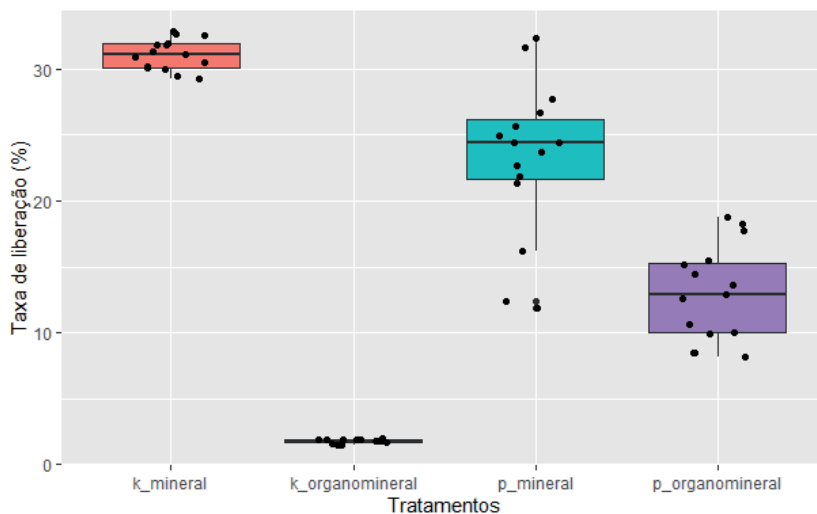



Figura 1: Taxa de liberação média dos nutrientes do fertilizante organomineral e mineral.

Com relação ao K do organomineral, nota-se que houve aumento até 60 min e posterior estabilização da concentração do nutriente na solução (Figura 2). Esses resultados demonstram que após 1 h ocorre a saturação da solução, sendo necessário adicionar e/ou renovar o solvente para que possa ser liberado mais nutriente para o meio. Nessas condições, a planta seria capaz de absorver o K da solução, e à medida que entra água no solo ocorre a liberação do K para a solução, assim a planta absorveria o nutriente de forma gradual conforme sua necessidade. De acordo com MIRANDA et al. (2013) o aumento da reserva de potássio no solo pode ser alcançado através do uso de fontes menos solúveis evitando perdas de K por percolação ou lixiviação.

No que tange o teor de K mineral, foi observado uma taxa de liberação de 31,9% logo nos primeiros 15 min. No entanto, após 30 min houve uma redução do elemento em solução, apresentando 32,4, 31,4, 30,2 e 29,6% nos tempos de 30, 60, 120 e 240 min, respectivamente (Figura 2).

Esses resultados podem ser explicados em virtude do efeito térmico que acompanha a dissolução do precipitado. A dissolução do cloreto de potássio ocorre pelo processo endotérmico, ou seja, a dissolução é favorecida em temperaturas mais elevadas (OLIVEIRA et al., 2009). Durante a condução do presente experimento não houve o controle da temperatura, então ao iniciar a dissolução do fertilizante ocorreu o processo de resfriamento da solução, o que levou a precipitação do K do meio.

Quando avaliado a associação entre a taxa de liberação do P e o tempo de dissolução de ambos os fertilizantes, mineral e organomineral, nota-se uma tendência de associação positiva, logo, conforme aumenta-se o tempo de solubilização dos fertilizantes, aumenta-se também a concentração do nutriente na solução.

No tocante ao P organomineral, observa-se que houve um aumento crescente na solução em função do tempo, partindo de 8,4% com 15 min até 18,3% aos 240 min. Os dados apontam que houve uma liberação gradual do elemento para a solução e em baixas concentrações (Figura 2).

Segundo Souza et al. (2019), no organomineral a fixação dos minerais na parte orgânica causa a liberação gradual dos nutrientes. Diante do contato do solo com a matriz orgânica do FOM os nutrientes serão liberados para as plantas de forma gradual, garantindo menor perda de nutrientes em comparação a fertilizantes minerais.

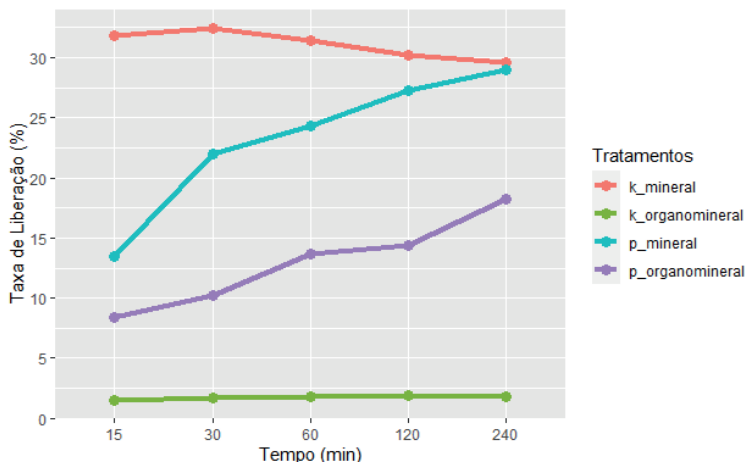



Figura 2: Taxa de liberação média dos nutrientes do fertilizante organomineral e mineral em função do tempo.

Foi aplicado uma ANOVA de uma via com medidas repetidas no tempo. Para observar se houve diferença significativa entre a liberação dos nutrientes nos diferentes tempos. Com base no resultado do teste de Mauchly com p-valor de 0,01454, logo rejeita H_0 e assume-se que os dados não são esféricos, portanto, o p-valor de 3,145502e-09 da ANOVA não pode ser assumido pois não há esfericidade dos dados (Tabela 1).

Uma vez que não houve esfericidade dos dados, foi analisado a ANOVA de uma via com medidas repetidas corrigida, aplicando-se a correção de Greehouse-Geisser (GGe) observa-se um p-valor de 0,00013, então, rejeita H_0 e assume-se que pelo menos um tratamento difere estatisticamente dos demais.

Tabela 1: Análise de variância com medidas repetidas corrigida da taxa de liberação média dos nutrientes do fertilizante mineral e organomineral com os dados transformados por raiz.

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Tratamentos (Fertilizantes)	3	51,25	1,70	120,73	3,145502e-09*
Intercepto	1	290,58	1,35	863,82	7,979277e-06*
	Teste de Mauchly's				
Tratamentos					0,01454*
	Teste de Greehouse-Geisser				
Correção da esfericidade		**GGe**			**p-valor corrigido**
Tratamentos		0,391			0,00013*

Códigos de significância: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1.

Ao realizar a comparação entre pares por testes t pareados corrigidos pelo ajuste de Bonferroni, nota-se que todos os tratamentos diferiram estatisticamente entre si (Tabela 2). Os dados indicam que há diferença significativa da taxa de liberação dos nutrientes em função do tempo de dissolução dos fertilizantes.

Tabela 2: Taxa de liberação média dos nutrientes do fertilizante mineral e organomineral com os dados transformados por raiz.

Tratamentos (Fertilizantes)	**Taxa de liberação média %**
K organomineral – K mineral	< 0,05*
K organomineral – P mineral	< 0,05*
K organomineral – P organomineral	< 0,05*
P organomineral – P mineral	< 0,05*

* - significativa. A comparação entre as médias foi obtida pelo teste de Bonferroni a 5% de significância.

De maneira geral a dissolução dos nutrientes é influenciada pelo tempo. Sendo que, houve uma liberação gradual dos nutrientes no fertilizante organomineral.

Dentre o mais amplo conceito, Shaviv; Mikkelsen (1993) afirmam que os fertilizantes de liberação lenta possuem dois principais benefícios: liberam os nutrientes de acordo com a demanda da cultura, e disponibilizam os nutrientes no sistema solo-planta influenciada pela interação/competição entre as reações químicas, raízes de plantas, microrganismos e vias de perda.

SHAJI et al. (2021) afirma que à medida que a liberação de nutrientes ocorre de maneira mais gradual, ocorre uma melhoria nas propriedades físicas globais do solo, resultando em uma disponibilidade mais sustentada dos nutrientes.

CONCLUSÕES

Os nutrientes contidos no fertilizante organomineral são liberados mais lentamente com relação aos nutrientes dos fertilizantes minerais.

O tempo influencia na taxa de liberação dos nutrientes do organomineral.

O potássio manteve concentração constante em solução, cerca de 2%, a partir dos 60 min de dissolução do organomineral.

O fósforo assumiu um comportamento de liberação gradativa ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA - Pesquisa setorial ano 2023/2022. Disponível em: <https://anda.org.br/pesquisa_setorial/ >Acesso em: 18 Out. 2023.

DINIZ, D. A. Caracterização química do solo com o uso de fertilizante organomineral. p.23, Goiás, 2019.

EMBRAPA- VII Plano diretor da Embrapa 2020-2030 p.7, Brasília, 2020.

LAWRENCE, M. A. Easy Analysis and Visualization of Factorial Experiments. Package ‘ez’, 2016. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/ez/ez.pdf>. Acesso em: 15. out. 2023.

MAPA. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA, 240 p., 2017.

MIRANDA, M. C. C.; SANTOS, D. S.; PEREIRA, H. S.; SANTOS, J. C. G. Lixiviação de potássio proveniente de diferentes fontes de potássio em dois tipos de solo. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis-SC, p.3, 2013.

OLIVEIRA, I. M. F.; SILVA, M. J. S. F.; TÓFANI, S. F. B. Fatores que afetam a solubilidade dos precipitados. Fundamentos de Química Analítica, 2009.

PIASSA, V. A. Solubilidade de fertilizantes organominerais peletizados à base de biossólido e torta de filtro. 2020. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing.Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: https://www.r-project.org/.

SHAJI, H.; CHANDRAN, V.; MATHEW, L. Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. controlled release fertilizers for sustainable agriculture. School of Biosciences, Mahatma Gandhi University. p. 240-243. Kerala, 2021.

SHAVIV, A.; MIKKELSEN, R. L. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation - A review. 35(1-2) p.1-12, 1993.

SOUZA, R.; HENRIQUE, B.; HENRIQUE, L.; HENRIQUE, H. Uso do fertilizante organomineral de liberação gradual de nutrientes na cultura da soja. The Journal of Engineering and Exact sciences, v.6, n.4. Uberlândia, 2019.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Acid digestion of sediments, sludges, and soils. EPA method 3050B. 12p. 1996.

ZONTA, E.; STAFANATO, J. B.; PEREIRA, M. G. Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. Cáp 14, p.263, Embrapa, 2021.

CAPÍTULO 14

REFLEXOS AMBIENTAIS DA PERDA DE NUTRIENTES DO SOLO POR EROSÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM (SP)

Data de aceite: 01/04/2024

Vanessa Cézar Simonetti
Doutora em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

Enzo Felippe Ponzetta
Estudante de graduação em Engenharia Ambiental (UNESP-ICTS)

Alessandro Xavier da Silva Júnior
Estudante de graduação em Engenharia Ambiental (UNESP-ICTS)

Arthur Pereira dos Santos
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

Liliane Moreira Nery
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

Darllan Collins da Cunha e Silva
Professor do Departamento de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UNESP-ICTS)

RESUMO: O estudo teve como objetivo espacializar os nutrientes do solo da bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim e estimar a perda desses nutrientes por erosão hídrica em cada sub-bacia hidrográfica da região. Amostras de solo foram coletadas em 30 pontos previamente distribuídos ao longo da bacia hidrográfica em uma malha amostral regular na profundidade de 0 a 20 cm e em seguida foram feitas análises granulométricas. Para estimar a perda anual média do solo pela erosão hídrica foi utilizada a Equação Universal da Perda de Solos (EUPS). Os resultados da perda de nutrientes foram apresentados em kg/ano, compatibilizando as unidades com o mapa de perda de solos. De maneira geral, a distribuição dos atributos do solo analisadas revelou uma alta heterogeneidade espacial, variando significativamente entre as bacias hidrográficas. A matéria orgânica e o Cálcio (Ca) representaram as maiores perdas em quase todas as sub-bacias, enquanto o Cobre (Cu) e o Fósforo (P) representaram as menores. Constatou-se que as sub-bacias com grandes áreas de florestas apresentam menores perdas de solo, mostrando a importância da vegetação na redução da erosão e consequentemente na perda de nutrientes do solo.

PALAVRAS-CHAVE: análise espacial, EUPS, geoprocessamento, monitoramento ambiental.

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF SOIL NUTRIENT LOSS DUE TO WATER EROSION IN THE PIRAJIBU-MIRIM RIVER WATERSHED (SP)

ABSTRACT: The study aimed to spatialize soil nutrients in the Pirajibu-Mirim river watershed and estimate the loss of these nutrients due to water erosion in each sub-watershed of the region. Soil samples were collected at 30 pre-distributed points along the watershed in a regular sampling grid at a depth of 0 to 20 cm, followed by granulometric analyses. To estimate the average annual soil loss due to water erosion, the Universal Soil Loss Equation (USLE) was employed. The nutrient loss results were presented in kg/year, with units compatible with the soil loss map. Overall, the distribution of analyzed soil attributes revealed high spatial heterogeneity, varying significantly between the sub-watersheds. Organic matter and Calcium (Ca) represented the highest losses in almost all sub-watersheds, while Copper (Cu) and Phosphorus (P) represented the lowest. It was observed that sub-watersheds with large forested areas had lower soil losses, highlighting the importance of vegetation in reducing erosion and, consequently, soil nutrient loss.
KEYWORDS: environmental monitoring, EUPS, geoprocessing, spatial analysis.

INTRODUÇÃO

O solo possui grande importância como constituinte terrestre, exercendo a função de um grande reservatório de carbono e outros elementos fundamentais à vida (FAO, 2017). Porém, práticas inadequadas de manejo e conservação podem reduzir sua a capacidade produtiva, sendo necessária a aplicação de fertilizantes para torná-lo fértil novamente, o que muitas vezes causa decomposição acelerada da matéria orgânica e acidificação do solo (TIAN et al., 2012; FAO, 2017). Da mesma forma, a erosão hídrica ocasiona a remoção de solos que contêm nutrientes, gerando problemas de ordem ambiental e sanitária ao serem depositados em corpos hídricos (SILVA et al., 2018). Segundo WOLKA et al. (2021), estima-se que sejam perdidos, por erosão hídrica, entre 36 e 75 bilhões de toneladas de solo por ano em todo o mundo.

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), proposta por Wischmeier e Smith (1965), tem sido utilizada em diversos estudos para estimar a perda de solos, como VATANDAŞLAR;YAVUZ (2017), que utilizaram imagens de satélite de alta resolução espacial para estimar o Fator C da EUPS de uma sub-bacia hidrográfica na Turquia. Nesse sentido, a utilização de modelos preditivos com o apoio do geoprocessamento possui grande importância no diagnóstico e monitoramento ambiental em escala de bacias hidrográficas.

Portanto, o objetivo do estudo foi espacializar os nutrientes do solo da bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim e estimar a perda desses nutrientes por erosão hídrica em cada sub-bacia hidrográfica da região estudada, buscando identificar quais contribuem com maior aporte de partículas de solo nos cursos de água.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo se localiza em Sorocaba, interior do Estado de São Paulo. O município pertence à Região Metropolitana de Sorocaba (RMS), que se destaca por uma diversificada atividade econômica, caracterizada pela produção industrial altamente desenvolvida (EMPLASA, 2019). A bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim se localiza a Sudeste do município, contemplando a represa do Ferraz, manancial de abastecimento hídrico responsável por cerca de 10% da captação superficial do município, com uma extensão próxima de 55,35 km².

Segundo a classificação pedológica realizada por ROSSI (2017), os solos se caracterizam em Argissolos Vermelho-Amarelo do tipo PVA (pouco profundo e raso, com textura média) em grande parte da bacia hidrográfica, e nas áreas de maior altitude em Argissolos Vermelho-Amarelo (profundo e muito profundo, com textura argilosa) e Cambissos Háplicos (pouco profundo e profundo, textura média/argilosa).

A realização do estudo contou com bases de dados apoiadas em SIG (Sistema de Informações Geográficas) e processadas no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS – Unesp Sorocaba) via ArcGis 10.5 (ESRI, 2016).

Dessa forma, amostras de solo foram coletadas em 30 pontos previamente distribuídos ao longo da bacia hidrográfica em uma malha amostral regular na profundidade de 0 a 20 cm (Figura 1). Com o auxílio de um trado, em cada ponto foram retirados 500g de solo e, em seguida, enviados ao laboratório de Física do Solo e de Fertilidade do Solo para a realização das análises granulométricas.

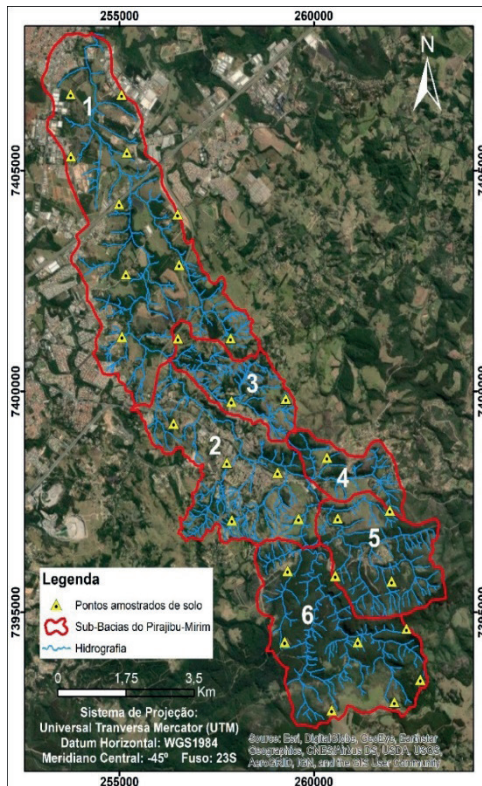



Figura 1. Distribuição dos pontos de solo amostrados na bacia hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim.

Fonte: Autores.

Para estimar a perda anual média do solo pela erosão hídrica foi utilizada a Equação Universal da Perda de Solos (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith (1978) (Equação 1).

$$A = R \times K \times LS \times CP \quad (1)$$

Em que:

A: perda de solo por unidade de área no tempo (t/ha);

R: fator erosividade da chuva (MJ.mm/h.ha);

K: fator de erodibilidade do solo (t.ha.h/ ha.MJ.mm);

LS: fator topográfico englobando a declividade e comprimento de rampa (adimensional);

C: fator de uso e manejo do solo (adimensional);

P: fator de prática conservacionista do solo (adimensional).

Os dados obtidos em t/ha.ano foram reclassificados em classes de perda de solos adaptados da Food and Agriculture Organization (FAO-PNUMA, 1980), que determinam os valores entre 0-10 t/ha.ano como: Leve; 10-50 t/ha.ano: Moderado; 50-200 t/ha.ano: Alta; e acima de 200 t/ha.ano: Muito Alta.

Empregou-se a geoestatística espacial buscando avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo, sendo eles cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), alumínio (Al^{3+}), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Assim, as unidades utilizadas nas análises, como g/dm³ e mg/dm³, foram convertidas para quilograma por tonelada de solo (kg/tonelada de solo), e os resultados da perda de nutrientes apresentados em kg/ano, compatibilizando as unidades com o mapa de perda de solos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, a distribuição dos atributos do solo analisadas revelou uma alta heterogeneidade espacial, variando significativamente entre as bacias hidrográficas. Dessa forma, os dados quantitativos de perda de nutrientes em kg/ano são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Perda anual de atributos do solo das sub-bacias do Pirajibu-Mirim

	Perda em kg/ano por sub-bacia					
Atributos do solo	**Sub-Bacia 1**	**Sub-Bacia 2**	**Sub-Bacia 3**	**Sub-Bacia 4**	**Sub-Bacia 5**	**Sub-Bacia 6**
Ca	4.703,5	9.794,4	5.721,0	1.221,6	3.911,4	3.173,4
P	150,8	184,7	92,6	14,7	25,8	22,8
MO	186.293,8	194.904,2	67.337,2	47.202,3	82.020,6	96.330,8
K	700,3	1.144,0	522,3	168,7	272,4	249,6
Al	478,9	115,9	40,2	117,0	244,7	400,2
Cu	95,0	76,3	28,7	28,8	45,6	40,2
Fe	5.210,9	3.559,0	1.581,6	1.119,5	1.451,8	2.208,0
Mg	705,6	1.225,3	492,7	187,6	353,4	473,1
Mn	260,3	560,9	222,5	119,9	80,2	79,4
Zn	234,7	366,6	128,3	74,9	163,5	43,9

Fonte: Autores.

O atributo do solo com maior perda anual em todas as SubBacias é a MO (Matéria orgânica), com destaque para a Sub-Bacia 2 (194.904,2 kg/ano). O Ca foi o segundo elemento com maiores perdas, com valores mais expressivos na Sub-Bacia 2 (9.794,4 kg/ano). O P e o K também apresentaram maiores perdas na Sub-Bacia 2, sendo 184,7 kg/ano e 1.144,0 kg/ano respectivamente. O Al e o Cu apresentaram uma perda mais proeminente

na Sub-Bacia 1, com 478,9 kg/ano e 95,0 kg/ano, nessa ordem. Além deles, o Fe também apresentou altos valores de perdas na Sub-Bacia 1 (5210,9 kg/ano). Por fim, o Mn e o Zn apresentaram perdas mais significativas na SubBacia 2, com 560,9 kg/ano e 366,6 kg/ano, respectivamente.

Constatou-se que as sub-bacias com grandes áreas de florestas possuem terrenos acidentados, alta declividade e altitude, o que aumenta o potencial de erosão. No entanto, essas sub-bacias apresentam as menores perdas de solo classificadas como Moderadas em comparação com as de menor altitude e declividade. Além disso, têm as menores taxas de perda de solos e nutrientes, com maior acúmulo de matéria orgânica e elementos essenciais. Isso destaca a importância da vegetação na redução da erosão hídrica e ressalta a necessidade de conservação dessas áreas.

CONCLUSÕES

A perda de nutrientes pode desencadear o empobrecimento do solo, reduzindo diretamente a sua capacidade produtiva e podendo afetar a biota aquática devido os desequilíbrios que os nutrientes em excesso causam nos corpos hídricos. Portanto, a análise da distribuição espacial dos atributos do solo e a perda dos nutrientes em bacias hidrográficas são de grande importância para o monitoramento e desenvolvimento de ações que envolvam práticas conservacionistas, bem como a preservação da vegetação que auxilia na redução da erosão hídrica e consequentemente na perda de nutrientes. Além disso, o uso de ferramentas de geoprocessamento é essencial, intensificando a capacidade de análise e monitoramento nessas áreas.

REFERÊNCIAX BIBLIOGRÁFICAS

EMPLASA – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S.A. **Plano de Ação da Macrometrópole Paulista 2013/2040**. São Paulo: Emplasa, 2019.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS for Desktop: Versão 10.5.** Redlands: ESRI, 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Voluntary Guidelines for sustainable soil management food and agriculture organization of the united nations**. Rome-Italy, 2017

FAO-PNUMA – Food and Agriculture Organization of the United Nations - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos**. Roma: Publicaciones de la FAO, 1980.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R. W. Proposta metodológica para análise espacial de nutrientes do solo em bacias hidrográficas. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 3, p. 85-107, 2018.

TIAN, H. Q.; LU, C. Q.; MELILLO, J.; REN, R.; HUANG, Y.; XU, X. F.; LIU, M. L.; ZHANG, Z.; CHEN, G. S.; PAN, S.F. Food benefit and climate warming potential of nitrogen fertilizer uses in China. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 4, p. 044020, 2012.

VATANDAŞLAR, C.; YAVUZ, M. Modeling cover management factor of RUSLE using very high-resolution satellite imagery in a semiarid watershed. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 2, p. 65, 2017.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland.** Agricultural Research Service: US Department of Agriculture, 1965.

WOLKA, K.; BIAZIN, B.; MARTINSEN, V.; MULDER, J. Effects of soil bunds on surface runoff, erosion and loss of nutrients. **Science of The Total Environment**, p. 142877, 2021.

MICRORGANISMOS COM POTENCIAL DE SOLUBILIZAÇÃO DE FERTILIZANTE TERMOFOSFATO

Data de aceite: 01/04/2024

Fernanda Seixas Arcenio
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Danielli Monsores Bertholoto
Pós-doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Ciência dos Solo (UFRRJ)

Carolina Rufino de Souza
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

João Vitor da Silva Gonçalves
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Everaldo Zonta
Professor Titular do Departamento de Solos (UFRRJ)

Irene da Silva Coelho
Professora Associada do Departamento de Microbiologia e Imunologia Veterinária (UFRRJ)

RESUMO: A salinidade e a seca são um dos principais fatores que contribuem para a degradação do solo e limitam a produção agrícola em escala global. A bioprospecção de microrganismos com capacidade de solubilizar termofosfato pode ser uma alternativa promissora visando um manejo sustentável. Dez bactérias isoladas da rizosfera de plantas halófitas oriundas de diferentes regiões do estado do Rio de Janeiro, classificadas em nível de gênero como *Bacillus* (89 e 120), *Enterobacter* (11 e 186), *Halomonas* (16), *Kushneria* (102), *Pantoea* (15 e 150), *Pseudomonas* (183), além de uma bactéria não identificada (145), foram avaliadas quanto a sua capacidade de solubilizar fertilizante termofosfato. Os isolados foram inoculados em meio de cultura NBRIP contendo 3% NaCl e 13 mg/L de fertilizante termofosfato com pH inicial 7,0 e incubados sob agitação de 150 rpm durante 14 dias. As análises foram feitas em triplicata e uma alíquota de 10 mL do meio foi coletada no tempo inicial (0 dia) e final (14 dias) para análise de pH e fósforo solubilizado pelo método colorimétrico azul de molibdênio. Os isolados *Enterobacter* (11), *Pantoea* (15) e uma bactéria não identificada (145) demostraram resultados promissores no que tange a solubilização de fertilizante termofosfato e podem ser candidatos para o desenvolvimento de insumos biológicos.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura orgânica, bactérias promotoras de crescimento vegetal, fósforo, salinidade.

MICROORGANISMS WITH SOLUBILIZATION POTENCIAL OF THERMOPHOSPHATE FERTILIZER

ABSTRACT: Salinity and drought are one of the main factors contributing to soil degradation and limiting agricultural production on a global scale. The Bioprospecting of microorganisms that can solubilize thermophosphate must be a promising alternative for sustainable management. Ten bacteria isolated from the rhizosphere of halophytic plants from different regions of the state of Rio de Janeiro, classified at the genus level as *Bacillus* (89 and 120), *Enterobacter* (11 and 186) *Halomonas* (16), *Kushneria* (102), *Pantoea* (15 and 150), *Pseudomonas* (183), and unidentified bacterium (145), were evaluated for their ability to solubilize thermophosphate fertilizer. The isolates were inoculated in NBRIP growth medium containing 3% NaCl and 13 mg/L of thermophosphate fertilizer with an initial pH 7.0 and incubated under shaking at 150 rpm for 14 days. The analyzes were conducted in triplicate and 10 mL aliquot of each medium was collected at the initial (0 day) and final (14 days) time for analysis of pH and solubilized phosphorus using the molybdenum blue colorimetric method. The isolates *Enterobacter* (11), *Pantoea* (15) and an unidentified bacterium (145) demonstrated promising results in relation to solubilization of thermophosphate fertilizer and may be candidates for the development of biological inputs.
KEYWORDS: organic agriculture; plant growth-promoting bacteria; phosphor; salinity.

INTRODUÇÃO

A salinidade e a seca são um dos fatores abióticos que mais colocam em risco a produtividade agrícola. Diversos fatores ambientais e antropogênicos podem influenciar a salinização dos solos e sua aridez como a escassa cobertura vegetal, alta concentração de sais em águas de irrigação devido à intensa evapotranspiração ocasionados por altas temperaturas, drenagem e aquíferos rasos, que facilitam o acúmulo de sal (GAMALERO et al., 2020).

O fósforo (P), é um macronutriente que limita a produtividade das culturas em escala global, principalmente em áreas com solos ácidos altamente intemperizados (TELES et al., 2018). A limitação ocasionada pelo fósforo decorre, principalmente, pela baixa solubilidade de formas fosfatadas em ambientes alcalinos com presença de cálcio, formando apatitas, ou pela precipitação com o alumínio presente em solos ácidos, formando fosfatos de alumínio (DAROUB et al., 2003). A fim de contrapor a baixa solubilização do fósforo no solo, grandes quantidades de formas solúveis de fertilizantes fosfatados são aplicadas em ambientes agrícolas, para favorecer a máxima produtividade das culturas (OLIVEIRA et al., 2021). As formas solúveis de fósforo são facilmente fixadas no solo sendo precipitadas em formas insolúveis ou absorvidas pelos argilominerais, impedindo que sejam aproveitadas de modo eficiente pelas plantas (NOVAIS et al., 2007).

Nos sistemas de produção orgânica, o uso de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade não é permitido, pois são facilmente lixiviados podendo gerar diversos problemas ambientais como a poluição dos solos e a eutrofização dos corpos d'água

(GAMUYAO et al., 2012). Uma das principais fontes de fósforo utilizadas na produção orgânica é o termofosfato, que possui cerca de 16 a 18% de $P2O_5$ e baixa solubilidade (VITTI et al., 2003). Os termofosfatos são fertilizantes obtidos por meio de tratamentos térmicos de rochas fosfatadas, podendo ser feitos com ou sem adição de outros materiais, como o silicato de magnésio (CARVALHO et al., 2000). No termofosfato magnesiano, os componentes magnesianos e silicatados desempenham um papel crucial na redução da fixação do P solubilizado, competindo com os fosfatos pelos sítios de absorção, contribuindo para a manutenção do P absorvido em sua forma utilizável (BENEDITO et al., 2007).

Nesse contexto, microrganismos solubilizadores de fósforo, capazes de tolerar altas concentrações de sais nos solos, desempenham um papel importante no que tange a biodisponibilização desse nutriente, competindo ou removendo o P fixado nos oxi-hidroxidos de alumínio, estimulando o crescimento vegetal. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de bactérias rizosféricas provenientes de plantas halófitas em solubilizar fertilizante termofosfato.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas 10 cepas bacterianas isoladas da rizosfera de plantas halófitas, em diferentes regiões do estado do Rio de Janeiro e classificadas em nível de gênero como *Bacillus* (89 e 120), *Enterobacter* (11 e 186), *Halomonas* (16), *Kushneria* (102), *Pantoea* (15 e 150), *Pseudomonas* (183), além de uma bactéria não identificada (145). Os isolados foram cultivados em meio de cultura DYGS acrescido com 3% de NaCl e colocados sob mesa agitadora durante 24 horas. Posteriormente, a densidade óptica (DO) de cada cultura foi averiguada por espectrofotometria 600 nm e a absorbância foi ajustada para 0,9-1,0. Alíquotas de 300 μL dos isolados foram inoculados em tubos falcon de 50 mL contendo 35 mL de meio NBRIP (acrescidos com 3% de NaCl, contendo 13 mg/L de fertilizante termofosfato Yoorin) com pH inicial em 7,0. Os tubos foram mantidos sob agitação de 150 rpm por 14 dias. Os testes foram realizados em triplicata. Uma alíquota de 10 mL do meio NBRIP foi retirada e transferida para tubos falcon de 15 mL e centrifugada a 6000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi filtrado com filtro de 0,22 μm acoplado em seringa. O filtrado foi utilizado para a determinação do pH final e a concentração de fósforo pelo método colorimétrico azul de molibdênio como descrito por Teixeira *et al.* (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os isolados foram capazes de solubilizar o termofosfato. Os isolados *Enterobacter* (11), *Pantoea* (15) e uma bactéria não identificada (145) foram os mais expressivos na solubilização de termofosfato, apresentando valores de 69, 60 e 60 mg/kg de fósforo após 14 dias de incubação (Figura 1) com pH final de 5,3, 6,2 e 6,1 respectivamente (Figura 2).

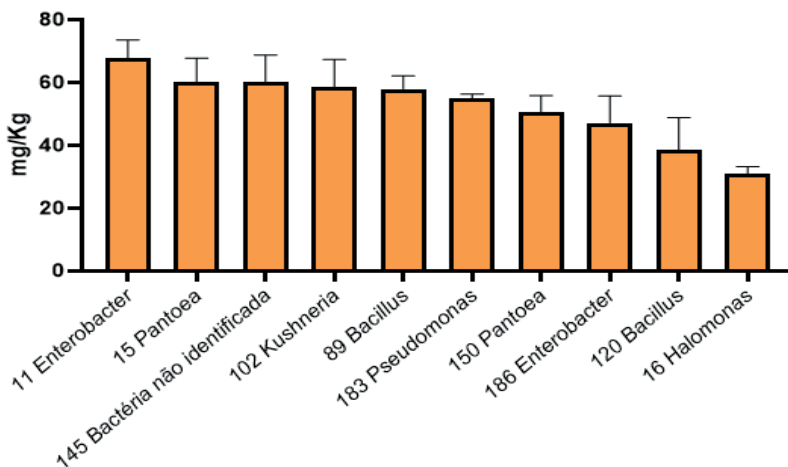



Figura 1. Média da quantidade de fósforo solubilizado por bactérias em meio de cultura contendo termofosfato Yoorin como fonte de fósforo após 14 dias de incubação. As barras indicam o desvio padrão da média.

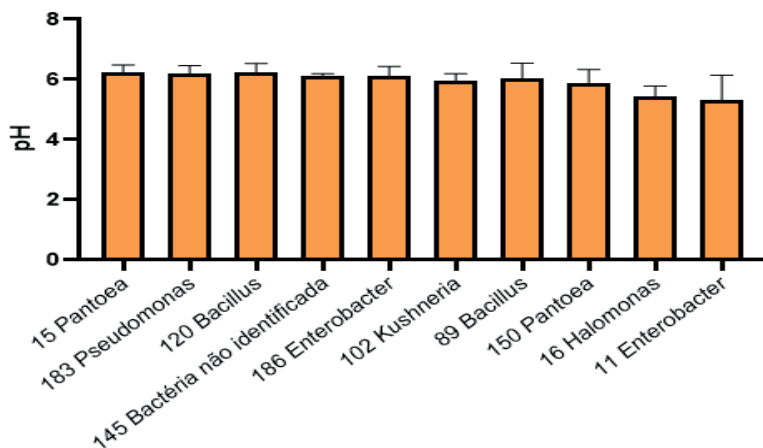



Figura 2. Média da leitura de pH em meio de cultura contendo termofosfato Yoorin como fonte de fósforo após 14 dias de incubação. As barras indicam o desvio padrão da média.

A capacidade de microrganismos em solubilizar fosfato inorgânico pode estar relacionada ao potencial de redução do pH do meio, devido a liberação de ácidos orgânicos ou de prótons. Os ácidos orgânicos podem dissolver diretamente o fosfato mineral como uma troca de ânions pelos ácidos ou quelar íons de Fe e Al associados com o fosfato (GOMES et al., 2010). Segundo GOMES et al. (2010), a acidificação dos meios pode não ser o único mecanismo de solubilização, uma vez que a capacidade de redução do pH em alguns casos não possui relação com a capacidade de solubilização. Esses isolados demostram que tem potencial para a liberação do fósforo a partir de termofosfato, um macronutriente essencial

para o desenvolvimento das culturas vegetais. Essa contribuição, além de aumentar a eficiência do uso de fertilizantes, também está relacionada à diminuição das perdas por fixação e lixiviação. A bioprospecção de microrganismos que possam otimizar a utilização de nutrientes está alinhada com os princípios da agricultura orgânica, proporcionando uma abordagem mais sustentável para o manejo do solo e produção agrícola.

CONCLUSÃO

Os isolados bacterianos provenientes da rizosfera de plantas halófitas utilizados neste estudo foram capazes de solubilizar fertilizante termofosfato. Os isolados de *Enterobacter* (11), *Pantoea* (15) e uma bactéria não identificada (145) podem ser promissores para o desenvolvimento de bioinsumos, garantindo um melhor aproveitamento de fósforo nos solos, inclusive em áreas afetadas por sais.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BENEDITO, D. S. **Eficiência agronômica de fontes alternativas de fósforo e modelo de predição do uso de fosfatos naturais**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CARVALHO, C.E; GALVÃO, L.C.R; REIS, L.D; UDEATA, M.E.M. Avaliação completa dos recursos para produção de termofosfato: uma aplicação do PIR. In: **Proceedingsofthe 3. Encontro de Energia no Meio Rural**. 2000.

DAROUB, S.H; GERAKIS, A.; RITCHIE, J.T.; FRIBSEN, D.K. & RYAN, J. Dere-lopment of a soil-plant phosphorussimulation model for calcareous and weatheredtropical soils. **Agr. Syst**, 2003.

DE OLIVEIRA, L.C.A; CARNEIRO, M.A; LITTER, F.A; DE CARVALHO, M.A.C; YAMASHITA, O.M. Frações de fósforo em função do uso de fertilizantes fosfatados em distintas classes de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 4, p. 1-15, 2021.

GAMALERO, E.; BONA, E.; TODESCHINI, V.; LINGUA, G. Saline and Arid Soils: Impacton Bacteria, Plants, and their Interaction. **Biology,** vol. 9, no. 6, 2 Jun. 2020.

GAMUYAO, R.; CHIN, J. H.; PARIASCA-TANAKA, J.; PESARESI, P.; CATAUSAN, S.; DALID, C.; SLAMET-LOEDIN, I.; TECSON-MENDONZA, E. M.; WISSUWA, M.; HEUER, S. The protein kinase Pstol1 from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. **Nature,** v. 488, n. 7412, p. 535–539, 23 Aug. 2012.

GOMES, E.A; SOUZA, F.A; SOUSA, S.M; VASCONCELOS, M.J.V; MARRIEL, I. E; SILVA, U.C. Prospecção de comunidades microbianas do solo ativas no aproveitamento agrícola de fontes de fósforo de baixa solubilidade. **Documentos 107**, 2010.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVA-REZ, V.V.H.; BARROS, N.F; FONTES, R.L.F; CANTARUTTI, R.B. & NE-VES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo.** Viçosa, SBCS, 2007. p. 471-550.

Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). **Manual de métodos de análise de solo,** 2017.

TELES, A.P.B. **Incorporação de argilas pilarizadas, zeólitas e substâncias húmicas em fertilizantes fosfatados para controle da solubilidade no solo**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VITTI, G.C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. **Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira**, 2003.

RELAÇÃO CARBONO: NITROGÊNIO DE CONSTITUINTES DA PLANTA DO SORGO FORRAGEIRO UTILIZANDO DOSES DE SILÍCIO E BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO

Data de aceite: 01/04/2024

Fleming Sena Campos
Pesquisador FAPEMA/CNPq do Programa do Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Renata Sousa Costa
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Francisca Claudia da Silva de Sousa
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Diego Henrique Alves de Sousa
Estudante de graduação em Zootecnia (UFMA)

Daniele de Jesus Ferreira
Professora do Departamento de Zootecnia (UFMA)

Anderson de Moura Zanine
Professor do Departamento de Zootecnia (UFMA)

RESUMO: Objetivou-se avaliar a relação carbono:nitrogênio de constituintes da planta do sorgo forrageiro utilizando doses de silício e bactérias promotoras do crescimento. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4 x 2 x 4, representados por quatro doses de silício (0, 4, 8 e 12 kg ha^{-1}), com e sem cepas de *Azospirillum brasilense* e quatro constituintes (raiz, colmo, folha e grão) do sorgo forrageiro BRS Ponta negra e cinco repetições, totalizando 128 unidades experimentais. Avaliou-se o percentual de carbono (C), nitrogênio (N) e a relação C:N nos constituintes de genótipos de sorgo forrageiro. Não foi observado interação (P>0,05) entre os constituintes da planta x inoculante x silício para nenhuma das variáveis avaliadas. Houve interação (P<0,001) entre os constituintes x silício para os valores de N. Observou-se maiores concentrações de C (P=0,001) nas folhas (43,17%) e nos grãos (43,00%) em relação em relação aos demais constituintes (colmo e raiz). O maior percentual da relação C:N foi encontrado no colmo (123,92) em relação a raiz, folha e grão. As maiores proporções de silício refletem em um aumento do nitrogênio nos constituintes das plantas sem alteração na raiz do sorgo, proporcionando maiores percentuais de carbono nos grãos e sua relação com o nitrogênio no colmo.

PALAVRAS-CHAVE: *Azospirillum brasilense,* silicato de sódio, *Sorghum bicolor.*

RELATIONSHIP BETWEEN CARBON AND NITROGEN OF THE CONSTITUENTS OF THE FORAGE SORGHUM PLANT USING SILICON DOSES AND GROWTH-PROMOTING BACTERIA

ABSTRACT: It was aimed to evaluate the carbon relationship: nitrogen of constituents of the forage sorghum plant using silicon doses and growth-promoting bacteria. The randomized block design was used, in a 4 x 2 x 4 factorial scheme, represented by four doses of silicon (0, 4, 8 and 12 kg ha^{-1}), with and without blinds of *Azospirillum brasilense e* and four constituents (root, stalk, sheet and grain) of the forage sorghum BRS Ponta Negra and five repetitions, totaling 128 experimental units. The percentage of carbon (C), nitrogen (n) and the relationship C:N in the constituents of forage sorghum genotypes was evaluated. No interaction was observed (p> 0.05) among the constituents of plant x inoculant x silicon for any of the evaluated variables. There was interaction (p <0.001) between the constituents x silicon for the values of N. There was higher concentrations of C (p = 0.001) in the leaves (43.17%) and in grains (43.00%) in relation to relation to the other constituents (pimple and root). The largest percentage of relationship C:N was found in the stalk (123.92) in relation to root, sheet and grain. The largest proportions of silicon reflect on an increase in nitrogen in plant constituents without sorghum root change, providing greater carbon percentages in the grains and their relationship with nitrogen in the pimple.

KEYWORDS: *Azospirillum brasilense,* sodium silicate, *Sorghum bicolor.*

INTRODUÇÃO

Estratégias de manejo para otimizar a eficiência do uso da água e atenuar o estresse hídrico nas plantas são necessárias. A utilização do silício, um elemento essencial as plantas tem demonstrado respostas benéficas sobre o desenvolvimento de várias culturas quando aplicado em cobertura, proporcionando maior resistência das plantas às doenças e pragas (OLIVERA-VICIEDO et al., 2020). Seus efeitos podem atenuar os efeitos de agentes estressores, bióticos e/ou abióticos, sofridos pelas plantas. Um dos benefícios do uso do silício é a atuação na amenização do estresse hídrico, propiciando menor transpiração, aumento da eficiência fotossintética, manter as folhas mais eretas e rígidas e com maior interceptação da luz, resistência a pragas e doenças, às intempéries, à salinidade, e à toxidez provocada pelo excesso de Al, Mn e Fe. Além disso, o silício está envolvido em uma maior homeostase estequiométrica elementar (C:N:P), favorecendo a eficiência do uso do carbono e o aumento da biomassa radicular (ROCHA et al., 2021).

Outra estratégia de suma importância para atenuar os efeitos do estresse hídrico é a tecnologia de inoculação com bactérias promotoras do crescimento vegetal. Uma importante ferramenta para alcançar a sustentabilidade na agricultura devido aos seus baixos custos ambientais e de produção em relação aos insumos industriais (OLIVEIRA et al., 2018). No Brasil destaca-se a utilização de bactérias fixadoras de nitrogênio capazes de suprir plenamente a demanda de N da lavoura (HUNGRIA et al., 2016). O *Azospirillum brasilense* é uma destas bactérias, cujo papel na tolerância à seca, pois elas melhoram as

características morfológicas da planta, como ramificação de raízes, aumento de biomassa radicular e aumento da densidade de pelos radiculares, resultando na melhor exploração do perfil do solo em busca de água (HUNGRIA, 2016).

De acordo com GALINDO et al. (2018) o uso de *A. brasilense* e diferentes fonte de Si na forma de silicato de Ca e Mg promove vários benefícios como maiores concentrações de B e Fe na parte aérea da planta, assim como, B nas raízes. Além dessa associação na inoculação das sementes promoverem o aumento da absorção de N da biomassa das raízes e da parte aérea da cultura. Assim, existe a necessidade de entender as respostas das diferentes doses de Si em associação a *A. brasilense* como estratégia em condições de déficit hídrico a longo prazo em condições de campo. Objetivou-se avaliar a relação carbono:nitrogênio de constituintes da planta do sorgo forrageiro utilizando doses de silício e bactérias promotoras do crescimento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão – UFMA/CCCh, Chapadinha, MA. O período experimental ocorreu entre os meses de setembro à dezembro de 2022. Nesse experimento foi usado o sorgo forrageiro BRS Ponta Negra.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4 x 2 x 4, representados por quatro doses de silício (Si) (0, 4, 8 e 12 kg ha^{-1}), com e sem cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6) e quatro constituintes (raiz, colmo, folha e grão) do sorgo forrageiro BRS Ponta negra e cinco repetições, totalizando 128 unidades experimentais. As doses de Si corresponderam a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol/L de Si na solução, em cada aplicação. Para a inoculação da semente foi realizada a pesagem de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 mL do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) – *Azospirillum brasilense* – Agrocete.

A área experimental abrangeu um total de 251 m², dividida em 40 parcelas de 6 m² cada (3 × 2 m). O espaçamento entre as linhas foi de 0,6 m, e entre as covas foi de 0,5 m, mantendo um espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 1 m entre os blocos. Cada parcela foi composta por 20 plantas, totalizando assim 800 plantas em toda a área experimental e 31.873 plantas/ha. A semeadura ocorreu de forma manual, em covas com aproximadamente 3-5 cm de profundidade, depositando 3 sementes de sorgo por cova.

A aplicação do silício nas plantas foi dividida em 6 vezes, com 3 aplicações durante o período vegetativo e outras 3 no período reprodutivo. A fonte de Si utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol (Si = 115,2 g/L, Na_2O = 60,5 g/L)

A irrigação foi realizada duas vezes por dia (06h00 e 17h00 h), recebendo uma lâmina de água de 2,5 mm diários, totalizando 175 mm durante o período experimental. Capinas foram realizadas aos 20, 50 e 90 dias após a semeadura. O desbaste das plantas

foi realizado para que existisse apenas uma planta por cova. As panículas foram cobertas com sacos de papel para evitar o ataque de pássaros aos grãos, sendo monitoradas até o dia da colheita.

Foram colhidos aproximadamente 400 g de amostra do sorgo Ponta Negra. As amostras foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 h, moídas em moinho de facas tipo "Willey" com peneiras de malhas de 1mm e, posteriormente foram realizadas as análises conforme metodologias descritas na AOAC (2016) e GAN et al. (2011).

Avaliou-se o percentual de carbono (C), nitrogênio (N) e a relação C:N nos constituintes (raiz, colmo, folha e grão) de genótipos de sorgo forrageiro (BRS Ponta negra).

As médias foram submetidas a análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey utilizando o software estatístico SAS (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observado interação ($P>0,05$) entre os constituintes da planta x inoculante x silício para nenhuma das variáveis avaliadas. Houve interação ($P<0,001$) entre os constituintes x silício para os valores de nitrogênio (N; Figura 1A. Os maiores valores de percentuais de N encontrados na folhas (1,8%) e grãos (1,7%) estão relacionados aos maiores níveis de silício (12 Kg ha^{-1}) correspondente a 2,85 mmol/L de Si na solução, em cada aplicação. A aplicação de Si no colmo promoveu resultados superiores (0.4%) em relação ao tratamento que não foi utilizado Si (0.3%) (Figura 1 A).

Observou-se maiores concentrações de carbono (C; P=0,001) nas folhas (43,17%) e nos grãos (43,00%) em relação em relação aos demais constituintes (colmo e raiz). O maior percentual da relação C:N foi encontrado no colmo (123,92) em relação a raiz, folha e grãos Figura 1B).

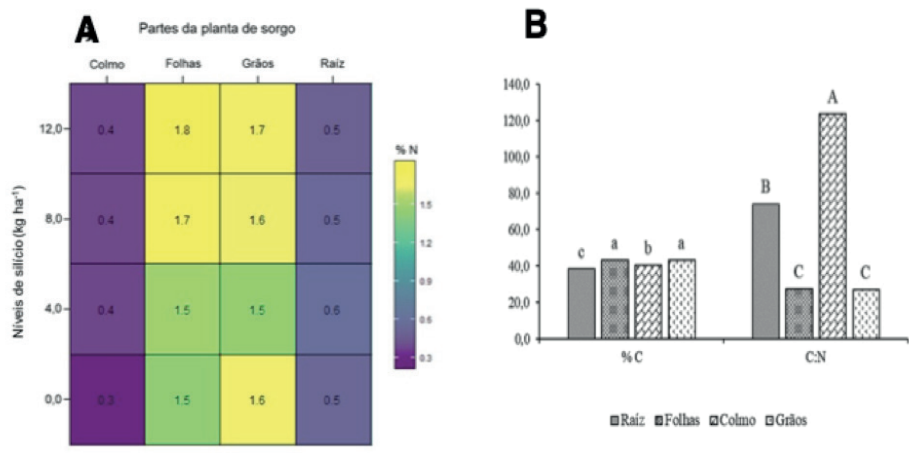



Figura 1: Valores das interações para as variáveis Carbono (C), Nitrôgenio (N) e relação C:N (%), (Figuras A, B) respectivamente, na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

Segundo OLIVEIRA et. al (2019) a relação C/N é a razão entre as quantidades de carbono (C) e nitrogênio (N) presente na biomassa da cultura. É um indicador de decomposição da matéria orgânica do solo. No presente estudo houve uma maior deposição de C e menor relação C/N nas folhas e grãos. Uma maior relação Carbono: Nitrogênio (C: N) nas folhas de uma planta geralmente significa que há uma proporção maior de carbono em relação ao nitrogênio nas estruturas foliares. Isso pode ser resultado de um acúmulo de compostos ricos em carbono, como celulose e lignina, que são importantes para a estrutura das plantas, no entanto com menor percentual de nitrogênio em sua composição.

Observou-se uma maior concentração de N a medida em que aumentou as doses de Si. Essa relação é um indicador importante das características e processos relacionados ao crescimento das plantas, à pendência da matéria orgânica e à dinâmica do solo. Para SIQUEIRA; FRANCO (1988), quando a relação C/N situa-se entre 20 e 30, ocorre um equilíbrio entre os processos de mineralização e de imobilização do nitrogênio; quando atinge valores superiores a 30, a imobilização supera a mineralização, o que pode ser observado no presente estudo.

CONCLUSÕES

As maiores proporções de silício refletem em um aumento do nitrogênio nos constituintes das plantas sem alteração na raiz do sorgo, proporcionando maiores percentuais de carbono nos grãos e sua relação com o nitrogênio no colmo.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e ao Programa de Pós Graduação em Ciência Animal (PPGCA) do Centro de Ciências de Chapadinha – CCCh.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC (Association of Analytical Chemists), 2016. **Official Methods of Analysis**, 20th ed. Latimer Jr., GW, Washington, D.C.

GALINDO, F.S. et al. Nitrogen rates associated with the inoculation of Azospirillum brasilense and application of Si: Effects on micronutrients and silicon concentration in irrigated corn. **Open Agriculture** v. 3, p. 510-523, 2018.

GAN, et al. C:N ratios and carbon distribution profile across rooting zones in oilseed and pulse crops. **Crop & Pasture Science**, v. 62, p. 496–503, 2011.

HUNGRIA, M. et al. Inoculation of Brachiaria spp. with the plant growth-promoting bacterium Azospirillum brasilense: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment,** v. 221, p.125-131, 2016.

OLIVEIRA, A.B. et al. **Coleção 500 perguntas, 500 respostas**. Embrapa, Brasília, 274 p. 2019.

OLIVEIRA, L.A. et al. Water management for sugarcane and corn under future climate scenarios in Brazil**. Agricultural Water Management,** v. 201, p. 199-206, 2018.

OLIVERA-VICIEDO, D. et al. Physiological role of silicon in radish seedlings under ammonium toxicity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, p. 5637-5644, 2020.

ROCHA, J.R. et al. Si fertigation attenuates water stress in forages by modifying carbon stoichiometry, favouring physiological aspects. **Journal of Agronomy and Crop Science,** v. 207, p. 631-643**,** 2021.

SAS, 2015. **Sas/Stat University User Guide**. Sas Institute Inc, Cary (NC).

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília, Ministério da Educação e Cultura, 1988. 236p.

CAPÍTULO 17

ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DE RAÍZES DE ARROZ CRESCIDAS EM SOLO COM BIOCHAR

Data de aceite: 01/04/2024

Franciele de Souza Rocha
Estudante de graduação em Engenharia Florestal (UFRRJ)

Kimberly Christina Marques da Silva
Estudante de graduação de Licenciatura em Ciências Agrícolas (UFRRJ)

Luana de Lima de Almeida
Estudante de graduação em Engenharia Florestal (UFRRJ)

Danielle França de Oliveira Torchia
Pós-Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

Orlando Carlos Huertas Tavares
Doutor em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

Andrés Calderín García
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O biochar é um produto da decomposição térmica na qual resulta um sólido rico em carbono. Sua aplicação como condicionante de solo e seus benefícios para o cultivo em solos tratados são amplamente estudados. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo verificar o impacto de biochars comerciais no crescimento do arroz em solo arenoso. Foram testados quatro biochars comerciais diferentes (B1, B2, B3 e B4) e três doses (10, 20 e 30 ton.ha^{-1}) em um experimento com delineamento experimental fatorial duplo, com testemunha adicional e sete repetições. O biochar comercial B4 evidenciou aumento significativo na produção de massa fresca e seca das raízes de arroz, em comparação com outros tratamentos. Notavelmente, o B4 estimulou a área e comprimento total das raízes, enquanto o volume total foi menos afetado. Esses resultados ressaltam o potencial positivo do biochar, especialmente do tipo B4, no desenvolvimento radicular do arroz.

PALAVRAS-CHAVE: biochar, crescimento vegetal, desenvolvimento radicular, matéria orgânica.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF RICE ROOTS GROWN IN SOIL WITH BIOCHAR

ABSTRACT: Biochar is a product of thermal decomposition resulting in a solid rich in carbon. Its application as a soil conditioner and its benefits for cultivation in treated soils have been widely studied. Therefore, the present study aims to verify the impact of commercial biochars on rice growth in sandy soil. Four different commercial biochars (B1, B2, B3 and B4) and three doses (10-, 20- and 30-ton ha^{-1}) were tested in an experiment with a double factorial experimental design, with additional control and seven replications. Commercial biochar B4 showed a significant increase in the production of fresh and dry mass of rice roots, compared to other treatments. Notably, B4 stimulated total root area and length, while total volume was less affected. These results highlight the positive potential of biochar, especially type B4, in rice root development.
KEYWORDS: biochar, organic matter, plant growth, root development.

INTRODUÇÃO

O termo “biocarvão” ou “biochar” foi proposto com base em estudos sobre a “Terra Preta de Índio (TPI)”, que são solos antropogênicos formados ao longo de anos de atividade humana e deposição de material carbonizado no solo, encontrados em algumas áreas da região Amazônica. Esses solos caracterizam-se por sua elevada fertilidade, pH elevado, atividade biológica significativa e alta capacidade de troca catiônica (JÚNIOR et al., 2022). O biochar é um material com alta capacidade de absorção e adsorção, rico em carbono orgânico (50 a 90%). Ele é composto por elementos químicos como cálcio, potássio e magnésio, essenciais para a nutrição vegetal, além de representar uma forma bastante estabilizada da matéria orgânica do solo (PETTER et al., 2016).

Quando aplicado ao solo, o biochar melhora vários aspectos físicos, químicos e biológicos dos solos, como por exemplo aumento da CTC do solo, do conteúdo de carbono orgânico do solo, da retenção de água do solo devido à sua alta superfície específica e porosidade, do valor de pH do solo, provimento de refúgio para a microbiota nos microporos do biochar, entre outros. Além disso, pode-se destacar o seu potencial efeito no desenvolvimento, crescimento e produtividade de culturas agrícolas e florestais, especialmente em solos tropicais, onde a matéria orgânica depositada e incorporada é importante na fertilidade natural dos mesmos (PETTER et al*.,* 2016).

Nas últimas décadas, alguns trabalhos vêm demostrando esse efeito do biochar no desenvolvimento agronômico das culturas, como o de Madari et al. (2006), que observaram, em experimentos em vasos, os efeitos significativos da aplicação de biochar (*Eucaliptus ssp.)* sobre plantas de arroz de terras altas. Os trabalhos de PETTER et al. (2012a) e Petter et al. (2012b) que observaram semelhança no efeito do biochar para a cultura do arroz de terras altas e alface, respectivamente. Esses efeitos não se restringem somente às culturas agrícolas, mas também para as culturas florestais (PETTER et al., 2016).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de quatros tipos de biochars comerciais (B1, B2, B3 e B4) no desenvolvimento e crescimento de arroz, baseando-se nos aspectos radiculares da massa seca e fresca, área total, comprimento total e volume total.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento utilizou a variedade de arroz *Oryza sativa* L. (cv. Nipponbare) em uma casa de vegetação. As sementes foram desinfestadas com hipoclorito de sódio a 2%, semeadas em vasos com 2 kg de solo a 3 cm de profundidade. A suplementação nutricional, realizada aos 21 e 26 dias após a semeadura, visou corrigir a deficiência de fósforo. Foram aplicados 31 ppm de fósforo, provenientes de 2/3 de fosfato de potássio monobásico e 1/3 de fosfato de potássio bibásico anidro, escolhidos pela necessidade de rápida absorção. A colheita foi feita aos 32 dias após a semeadura.

O estudo abrangeu quatro tipos de biochars comerciais (B1, B2, B3 e B4) e três diferentes doses (10 $ton.ha^{-1}$, 20 $ton.ha^{-1}$ e 30 $ton.ha^{-1}$), com um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo, incluindo um tratamento adicional, totalizando sete repetições. As análises estatísticas foram conduzidas no software estatístico R. Nos casos de diferença significativa indicada pelo teste F da análise de variância ($p<0,5$), foram realizados testes de médias com o teste de Tukey ($p<0,05$). Os gráficos foram gerados nos programas R statistic, Sigmaplot 12.0 e Microsoft Excel 2016.

Os sistemas radiculares das plantas de arroz foram distribuídos uniformemente em uma camada de água em uma bandeja de acrílico transparente (30 cm x 20 cm), e as plantas foram digitalizadas a 600 dpi (pontos por polegada) com um sistema Epson Expression 10000XL Scanner com uma iluminação adicional (TPU). As imagens foram trabalhadas e analisadas individualmente, e um total de 3 diferentes características radiculares foram quantificadas: comprimento da raiz (m $planta^{-1}$), área superficial da raiz (m^2 $planta^{-1}$), volume (m^3 $planta^{-1}$).

Para avaliar a massa fresca, as raízes de cada planta foram separadas e pesadas em balança digital de precisão. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em envelopes de papel e transferidas para estufa de secagem, permanecendo assim por 72 horas a 60 ºC. Após esse período, a massa seca do sistema radicular foi pesada em balança digital de precisão (±0,0001 g).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento com biochar comercial B4 mostrou um estímulo significativo na massa fresca das raízes (Figura 1a) em relação aos outros tratamentos, que apresentaram valores abaixo do controle. A massa seca das raízes (Figura 1b) apresentou um comportamento semelhante, entretanto, o estímulo do B4 foi maior quando comparado com a massa fresca.

Além disso, não houve diferença estatística significativa entre as três doses (10, 20 e 30 ton. ha^{-1}) do B4, bem como entre as três doses dos outros tratamentos (B1, B2 e B3), tanto para massa fresca quanto para massa seca, o que indica efeitos semelhantes quanto às doses utilizadas. No trabalho de Madari et al. (2006), verificaram um efeito positivo da aplicação de biochar (*Eucalyptus spp*) na cultura do arroz (cultivar Primaver), principalmente no desenvolvimento inicial (aos 28 DAS). Neste estudo, as plantas de arroz cultivadas em vasos com solos com biochar aos 28 DAS apresentaram maiores valores de massa seca da raiz do que as plantas cultivadas nos solos sem biochar.

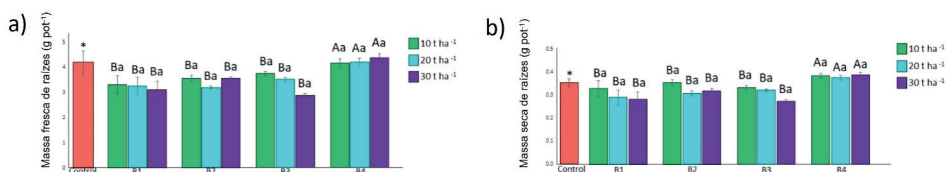



Figura 1: Avaliação da massa fresca (1a) e da massa seca (1b) das raízes de plantas de arroz cultivadas em diferentes condições (Controle, B1, B2, B3 e B4). Barras com a mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O aumento da massa seca proporcionado pela aplicação do biochar em plantas de arroz também foi demonstrado por PETTER et al. (2012a), que constataram um efeito significativo do biochar incorporado no ano anterior sobre esse parâmetro. No entanto, essa contribuição não foi analisada de forma separada (raiz, caule e folha). Nos estudos de Petter et al (2012b), no qual avaliaram o desenvolvimento de plantas de alface sobre substratos contento ou não biochar vegetal, foi observado um efeito positivo na massa fresca das raízes de alface cultivadas nos substratos que continham 7% e 15% de biochar de eucalipto em mistura, contudo, esses valores foram inferiores quando comparados ao substrato puro (sem biochar). Vale ressaltar que, além das características físico-químicas-estruturais, o ambiente no qual é aplicado o biochar, bem como o tempo de residência no solo, são fatores que afetam a reatividade do material com a fase líquida, sólida e gasosa do solo e isso reflete no desenvolvimento e crescimento das raízes das plantas. Outro aspecto observado neste estudo foi a influência do biochar na variabilidade da massa seca e fresca da raiz de arroz, as quais apresentaram menores variações para todos os biochars, com exceção do B1, que foi maior e se assemelhou com o controle. No trabalho de MADARI et al. (2006), esse tipo de comportamento foi identificado, uma vez que, ao analisarem o crescimento inicial das plantas de arroz cultivadas em solo com e sem biochar, notaram que esses desvios eram menores na maior parte do ciclo produtivo das plantas cultivadas com biochar do que nas que não receberam o biochar.

A área total de raízes foi estimulada principalmente pela aplicação de B4 (Figura 2a) que teve um aumento de 25 % e 26 % em relação ao controle, entretanto, não houve diferença significativa entre as doses do tratamento. A contribuição das diferentes classes

de áreas radiculares foi diferente, entretanto, o tratamento com B4 foi o que teve a maior influência. De forma complementar, destaca-se que a dose de 10 ton.ha^{-1} do B1 demonstrou a maior variabilidade quando contrastada com a mesma dose dos outros tratamentos e com o grupo de controle.

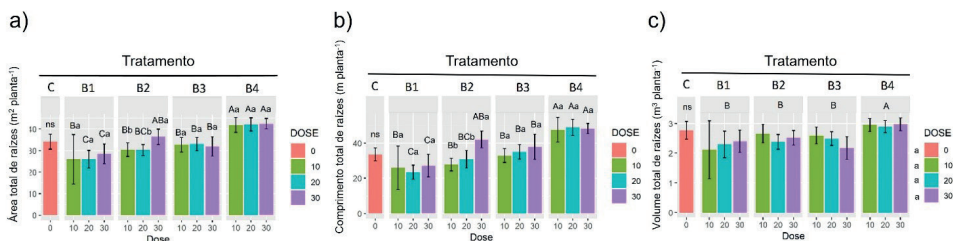



Figura 2. Morfologia radicular de plantas de arroz cultivadas em diferentes doses de Biochar (Controle, B1, B2, B3 e B4). Parâmetros morfológicos do sistema radicular: a) Área total das raízes; b) Comprimento total de raízes e c) Volume total de raízes. Biochars com a mesma letra maiúscula dentro de cada nível de dose não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$). Dose com a mesma letra minúscula dentro de cada nível de Biochar não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O comprimento total das raízes (Figura 2b) também foi influenciado significativamente com a aplicação dos biochars. A aplicação de B4 nas 3 doses proporcionou aumento significativo de 47% a 48 % no comprimento total de raízes, destaca-se também a dose de 30 ton.ha^{-1} do tratamento B2, com aumento de 27 %. Também foi observado que, tanto para comprimento total das raízes quanto para a área total, as doses de 20 ton.ha^{-1} e 30 ton.ha^{-1} do B1 não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si. No entanto, apresentaram diferenças em relação às doses correspondentes dos demais tratamentos (B2, B3 e B4). Adicionalmente, destaca-se que a dose de 10 ton.ha^{-1} do B1 demonstrou a maior variabilidade quando contrastada com a mesma dose dos outros tratamentos e com o grupo de controle.

BRENNAN et al. (2014) observaram um maior comprimento e densidade de raízes, quando comparados ao tratamento controle, além de diferentes níveis de absorção de cobre e arsênio (em solo contaminado) de acordo com o tipo de biochar utilizado. Já Olmo et al. (2014), afirmaram que o biochar influencia de forma significativa o comprimento e crescimento das raízes de trigo, especialmente as raízes finas.

O volume total (Figura 2c) foi menos impactado pelos tratamentos, aumentando em torno de 7% com todas as doses de B4, o qual foi o tratamento que diferiu significativamente do controle e dos outros tratamentos, para este parâmetro. O mesmo comportamento em relação a alta variabilidade da dose 10 ton. ha^{-1} do B1, observado para o comprimento total e área total da raiz, ocorreu com o volume total da raiz. No trabalho de SANTOS et al. (2013), o volume radicular da soja (Gmax) teve influência significativa quando foi aplicado 4 ton.ha^{-1} de carvão vegetal moído, sendo menor para as doses de 2 ton.ha^{-1} e 16 ton.ha^{-1}.

Alguns estudos têm demonstrado que a adição de biochar pode alterar a conformação radicular e a capacidade de absorção de nutrientes. Contudo, esses efeitos estão vinculados às características estruturais, físicas e químicas do material, que, por sua vez, têm relação com a qualidade do material e com o processo de pirólise adotado.

CONCLUSÕES

Biochars comerciais são opções promissoras para melhorar o desenvolvimento de arroz em solos arenosos. Dentre os tratamentos estudados, o B4 apresentou os efeitos mais satisfatórios nos parâmetros avaliados. O uso de biochar pode ser uma alternativa de baixo custo para a agricultura sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Química Biológica do Solo, ao PPGA-CS e à UFRRJ. Também agradecemos às agências de fomento CAPES, FAPERJ e CNPQ pela disponibilização de recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRENNAN, A. et al. Effects of biochar amendment on root traits and contaminant availability of maize plants in a copper and arsenic impacted soil. **Plant and soil,** v. 379, n. 1-2, p. 351-360, 2014.

JÚNIOR, C. D. C. et al. Uso agrícola e florestal do biochar : estado da arte e futuras pesquisas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e55711225999-e55711225999, 2022.

MADARI, B. E. et al. Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 6 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 125). – ISSN 1678-961X. Disponivel em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF/25441/1/comt_125.pdf >. Acesso em: 06 nov. 2023

OLMO, M.; VILLAR, R.; SALAZAR, P.; ALBUQUERQUE, J. A. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. Plant and Soil, v. 399, n. 1-2, p. 333-343, 2016.

PETTER, Fabiano André et al. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 699-706, 2012.

PETTER, Fabiano André et al. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. **Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 243-250, 2012.

PETTER, Fabiano André et al. Biocarvão no solo: aspectos agronômicos e ambientais. Embrapa Florestas, 2016. Disponível em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149714/1/2016-Marina-SIMBRAS-BiocarvaoSolo.pdf >. Acesso em: 07 nov. 2023

SANTOS, J. L. S. et al. Efeito do biocarvão nas comunidades bacterianas, estrutura do solo e sistema radicular de soja (G. max). In: Seminário Jovens Talentos, 7.; 2013, Santo Antônio de Goias, GO. **Anais de Congresso.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. P 99.

CAPÍTULO 18

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO SORGO FORRAGEIRO EM RESPOSTA A DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO COMO MITIGADOR DO DÉFICIT HÍDRICO, COM OU SEM INOCULAÇÃO DE *AZOSPIRILLUM BRASILENSE*

Data de aceite: 01/04/2024

Francisco Naysson de Sousa Santos
Bolsista de desenvolvimento científico regional do CNPq nível C (UFMA)

Renata Costa Sousa
Mestra do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão (PPCA/UFMA)

Leandro dos Santos Costa
Estudante de graduação em Agronomia (UFMA)

Guilherme Ribeiro Alves
Professor do Departamento de Zootecnia (UFBA)Daniele de Jesus Ferreira

Anderson de Moura Zanine
Professor do Centro de Ciências de Chapadinha (UFMA)

RESUMO: Objetivou- se avaliar as características morfológicas do sorgo forrageiro com diferentes doses de silício (Si) como mitigador do déficit hídrico com inoculação ou não de *Azospirilum brasilense*. O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4 × 2, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de Si (0, 4, 8 e 12 kg ha^{-1}) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol L^{-1} de Si na solução em cada aplicação, enquanto o segundo fator foi a inoculação das sementes com as cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% de cada. O cultivar utilizado foi o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra). A utilização do *A. brasilense* foi significativa para a variável altura da planta (p=0,016), em que sem inoculação com *A. brasilense* apresentou maior média (263,087 cm) quando comparado com inoculação com *A. brasilense* que teve média igual a (252,562 cm), apresentando plantas maiores sem sua utilização. Observou-se efeito quadrático para o diâmetro de panícula (DPA) (p=0,002) e diâmetro de colmo (DC) (p=0,002) com ponto de máxima de 7,2532 kg ha^{-1} e 7,9718 kg ha^{-1} respetivamente. A aplicação de distintas doses de silício em combinação com a inoculação de *A. brasilense* resultou em resultados morfológicos satisfatórios. Nesse sentido, a dose recomendada é de 8 kg ha^{-1} de Si associada à presença de *A. brasilense*.

PALAVRAS-CHAVE: entressafra, fertilização, silicato.

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FORAGE SORGHUM IN RESPONSE TO DIFFERENT SILICON DOSES AS A MITIGATOR OF WATER DEFICIT, WITH OR WITHOUT *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* INOCULATION

ABSTRACT: The objective was to evaluate the morphological characteristics of forage sorghum under different doses of silicon (Si) as a mitigator of water deficit with or without inoculation of *Azospirillum brasilense*. The experimental design used was a randomized complete block design in a 4 × 2 factorial scheme, with five replications, totaling 40 experimental units. The first factor consisted of Si doses (0, 4, 8, and 12 kg ha^{-1}) corresponding to 0, 0.96, 1.90, and 2.85 mmol L^{-1} of Si in the solution at each application, while the second factor was seed inoculation with *Azospirillum brasilense* strains (strains Ab-V5 and Ab-V6), in a 50% ratio of each. The cultivar used was forage sorghum (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra). The use of *A. brasilense* was significant for plant height (p=0.016), where without inoculation with *A. brasilense*, the mean height was higher (263.087 cm) compared to inoculation with *A. brasilense*, which had a mean height of (252.562 cm), indicating taller plants without its use. A quadratic effect was observed for DPA (p=0.002) and DC (p=0.002) with a maximum point of 7.2532 kg ha-1 and 7.9718 kg ha-1, respectively. The application of different silicon doses in combination with *A. brasilense* inoculation resulted in satisfactory morphological outcomes. In this context, the recommended dose is 8 kg ha^{-1} of Si associated with the presence of *A. brasilense.*
KEYWORDS: fertilization, off-season, silicate.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma planta que pertence à família *Poaceae*, com mecanismo fotossintético C4, o que lhe proporciona uma vantagem fotossintética significativa (ROSA, 2012). O sorgo é tolerante a altas temperaturas e à seca; no entanto, em caso de déficit hídrico, sua taxa de crescimento diminuirá, o que pode resultar na perda de seu potencial produtivo, com efeitos marcantes nas características morfológicas. Dessa forma, recorre-se a estratégias na tentativa de amortizar os efeitos do período seco, e uma dessas estratégias é o uso do silício (Si) (BISHNOI et al., 2023). A adubação adequada e a aplicação do silício podem atenuar esse estresse, uma vez que contribuem para a manutenção do potencial hídrico foliar (PEI et al., 2010), reduzem o estresse oxidativo ao diminuir a perda de eletrólitos (GONG et al., 2005) e na transpiração das plantas, com isso ocorre consequentemente o aumento da eficiência da fotossíntese. Quando as plantas têm deficiência de Si, por exemplo, ficam mais vulneráveis a ataques de pragas e fungos, tornando-se propensas ao acamamento e têm menor tolerância à salinidade (ISLAM et al., 2020).

Como o sorgo é uma gramínea de ciclo fotossintético C_4, é comumente reportado na literatura uma alta exigência e resposta ao nitrogênio (PAULO et al., 2016). Devido ao aumento dos custos para aquisição de fertilizantes sintéticos nitrogenados, tem se buscado alternativas que aliem boa produtividade e diminuição dos custos. Umas destas

alternativas são as bactérias promotoras de crescimento como o *Azospirillum brasilense* (LEITE et al., 2019). Estas bactérias são fixadoras de nitrogênio e podem fornecer parte do nitrogênio necessário para a cultura, aumentando assim a produção e reduzem a necessidade de grandes quantidades de fertilizantes assim como a diminuição da contaminação por nitrogênio reativo (MODESTO et al., 2021). Dessa forma, objetivou- se avaliar as características morfológicas do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si com inoculação de *Azospirilum brasilense* na entressafra agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Maranhão – UFMA/CCCh, localizado no Município de Chapadinha, Região do Baixo Parnaíba, situada a 03°44'33" S de latitude e 43°21'21" W de longitude. O clima predominante da região é o tropical úmido, segundo a classificação de Köppen (2013). As chuvas se concentram no primeiro semestre do ano cuja precipitação pluviométrica média é de 1.670 mm e temperatura média anual de 26,9 °C, com máxima média de 37°C e mínima de 22°C (INMET, 2018).

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4 × 2, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (Si) (0, 4, 8 e 12 kg ha^{-1}) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol L^{-1} de Si na solução em cada aplicação, enquanto o segundo fator foi a inoculação das sementes com as cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% de cada. O cultivar utilizado foi o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra).

O solo presente na área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura franco-argilosa. Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para a realização da caracterização química e textural do solo. Realizou-se a correção do solo de acordo com a necessidade identificada na análise de solo. Para isso, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 115,10%, sendo aplicados 2,3 toneladas por hectare para elevar a saturação de base para 60%, conforme recomendado para a cultura do sorgo.

A adubação de plantio, com os nutrientes NPK, foi feita manualmente e calculada com base na análise de solo e nas recomendações específicas. Foram aplicados 20 kg de N por hectare, 100 kg de P_2O_5 por hectare e 30 kg de K_2O por hectare. As características granulométricas do solo registradas foram de 70% de areia, 21% de argila e 9% de silte.

A área experimental abrangeu um total de 251 m², dividida em 40 parcelas de 6 m² cada (3 × 2 m). O espaçamento entre as linhas foi de 0,6 m, e entre as covas foi de 0,5 m, mantendo um espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 1 m entre os blocos. Cada parcela foi composta por 20 plantas, totalizando assim 800 plantas em toda a área experimental e 31.873 plantas/ ha. A semeadura ocorreu de forma manual, com o auxílio de

enxada para que fosse realizada a abertura das covas que possuíam aproximadamente 3-5 cm de profundidade, na qual foram usadas 3 sementes de sorgo por cova.

Para a inoculação da semente foi realizada a pesagem de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 mL do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) - *Azospirillum Brasilense* – Agrocete. Foram selecionadas duas plantas de cada parcela (plantas essas que pertenciam as linhas centras das parcelas e de altura uniforme) para realizar as medições e coletar dados das características produtivas, totalizando assim 80 plantas avaliadas. As avaliações foram: variáveis diâmetro de panícula (DPA) (mm), altura da planta (altura máxima- cm) e diâmetro de colmo (DC) (mm).

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizado com oito tratamentos e cinco repetições em um esquema fatorial 4 x 2 (yij = μ + Ti + Blj + eij), em que as médias foram submetidas a análise de variância a 5% de probabilidade, quando significativo as médias foram ajustadas ao modelo linear ou quadrático utilizando procedimento do PROC MIXED do software estatístico SAS (2004), para avaliar os dados morfológicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para diâmetro de panícula (mm) o ponto máximo foi encontrado ao utilizar o nível 7,2532 kg ha^{-1} a partir desse ponto houve um decréscimo (Figura 1). Na cultura do sorgo forrageiro a panícula é o principal componente para se estabelecer o ponto de colheita da planta, principalmente quando seu cultivo tem por finalidade a produção de silagem, devido sua contribuição no aumento dos teores de matéria seca da planta, além do mais, a panícula possui um maior teor de proteína bruta agregando maior valor nutritivo em relação aos demais componentes da planta, como: folha e colmo.

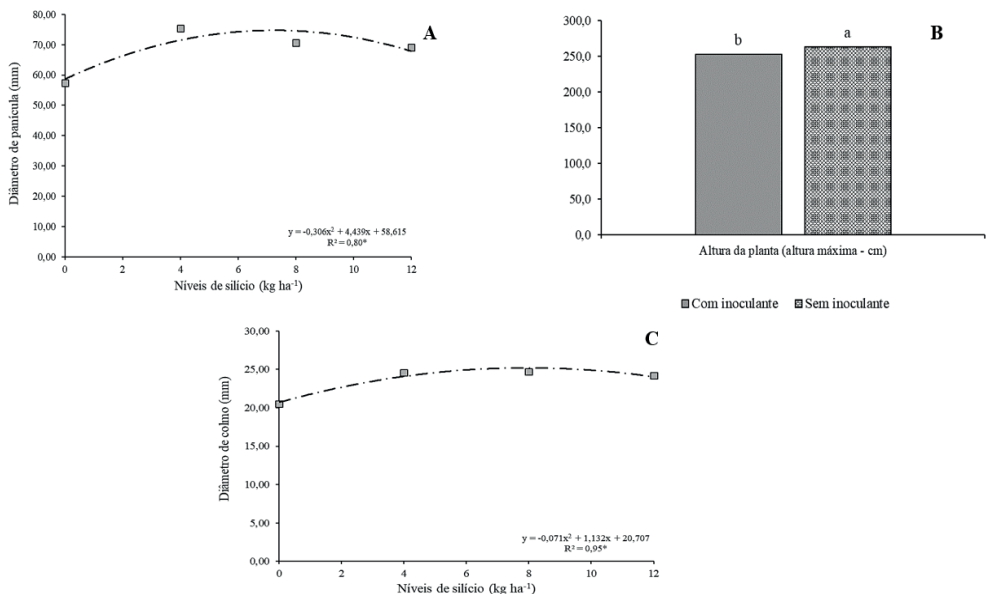



Figura 1: Regressões ajustadas e gráfico de barra para as variáveis diâmetro de panícula (mm) (A), altura da planta (altura máxima- cm) (B) e diâmetro de colmo (mm) (C) na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

A utilização do *A. brasilense* foi significativa para a variável altura da planta (p=0,016), em que sem inoculação com *A. brasilense* apresentou maior média (263,087cm) quando comparado com inoculação com *A. brasilense* que teve média igual a (252,562cm), apresentando plantas maiores sem sua utilização (Figura 1). Observou-se efeito quadrático para o diâmetro de panícula (DPA) (p=0,002) e diâmetro do colmo (DC) (p=0,002) com ponto de máxima de 7,2532 kg ha^{-1} e 7,9718 kg ha^{-1} respetivamente (Figura 1).

Em relação as características morfológicas, o uso das diferentes doses de Si apresentou melhoras no DPA, DC. A influência do aumento dos níveis de Si e o aumento nas variáveis pode ser explicado pois embora o Si não seja considerado um elemento essencial às plantas, estudos constatam que a aplicação de Si ao solo com o crescimento e acréscimo na produtividade das culturas, especialmente as espécies gramíneas, consideradas acumuladoras, como é o caso da cultura do sorgo (CASTRO, 2009).

CONCLUSÕES

A aplicação de distintas doses de silício em combinação com a inoculação de *A. brasilense* resultou em resultados morfológicos satisfatórios. Nesse sentido, a dose recomendada é de 8 kg ha^{-1} de Si associada à presença de *A. brasilense*.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISHNOI, A.; JANGIR, P.; SHEKHAWAT, P.K.; RAM, H.; SONI, P. **Silicon supplementation as a promising approach to induce thermotolerance in plants: Current understanding and future perspectives**. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2023.

CASTRO, G.S.A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. 2009. 160 p. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu.

GONG, H. et al. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v. 169, n. 2, p. 313-321, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METERIOLOGIA- INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 23 junh. 2023.

ISLAM, W. et al. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 168, p. 104641, 2020.

LEITE, R. C et al. Mitigation of Mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) dependence on nitrogen fertilization as a function of inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019.

MODESTO, V. C. et al. Yield and production components of corn under straw of marandu palisade grass inoculated with *Azospirillum brasilense* in the low-land Cerrado. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 2021.

PAULO, M.; CASTRO, Y. D. O.; MARQUES, R. D. C.; REGINA, D.; PEREIRA, M.; MARCONDES, M.; GODOY, D.; PATRÍCIA, N.; REGES, R. Importance of limestone and fertilization in traditional and alternative production of forage plants. p. 1–12, 2016.

PEI, Z.F. et al. Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum L.)* seedlings. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 29, p. 106- 115, 2010.

ROSA, W. J. Cultura do sorgo. Departamento Técnico da Emater–MG, 2012.

DOSES DE SILÍCIO E INOCULAÇÃO COM *A. BRASILENSE* NAS CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS DO SORGO FORRAGEIRO NO PERÍODO DE DÉFICIT HÍDRICO

Data de aceite: 01/04/2024

Francisco Naysson de Sousa Santos
Bolsista de desenvolvimento científico regional do CNPq nível C (UFMA)

Renata Costa Sousa
Mestra do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão (PPCA/UFMA)

Dilier Olivera-Viciedo
Universidad de O'Higgins-Chile (UOH)

Danillo Marte Pereira
Pesqusiador visitante do Departamento de Zootecnia (UFMA)

Daniele de Jesus Ferreira
Professora do Centro de Ciências de Chapadinha(UFMA)

Anderson de Moura Zanine
Professor do Centro de Ciências de Chapadinha(UFMA)

RESUMO: objetivou-se avaliar os efeitos individuais ou de interação da fertilização com silício e inoculação com Azospirillum brasilense sob as características produtivas do sorgo forrageiro no período de deficit hídrico. O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4 × 2, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (Si) (0, 4, 8 e 12 kg ha^{-1}) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol L^{-1} de Si na solução em cada aplicação, enquanto o segundo fator foi a inoculação das sementes com as cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% de cada. O cultivar utilizado foi o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra). A combinação das doses de Si e a inoculação com *A. brasilense*, não apresentou efeito significativo (p>0,05) para nenhuma das características produtivas do sorgo forrageiro. Já com relação os efeitos isolados, a utilização das diferentes doses de Si foi significativa para peso de planta inteira (P<0,001), número de folhas vivas (P=0,007), peso de folhas vivas (P=0,002), peso de colmo (P<0,001) e peso de panícula (P<0,001). Os resultados indicaram que o silício exerceu influência positiva nas características produtivas do sorgo forrageiro. Recomendando-se a dose 8 kg ha^{-1} de Si associado com *A. brasilense*.

PALAVRAS-CHAVE: bactérias diazotróficas, entressafra agrícola, *Sorghum* bicolor.

SILICON DOSES AND AZOSPIRILLUM BRASILENSE INOCULATION ON THE PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF FORAGE SORGHUM DURING WATER DEFICIT PERIOD

ABSTRACT: The objective was to evaluate the individual and interactive effects of silicon fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense* on the productive characteristics of forage sorghum during water deficit. The experimental design used was a randomized block design in a 4 × 2 factorial scheme, with five replications, totaling 40 experimental units. The first factor consisted of silicon (Si) doses (0, 4, 8, and 12 kg ha^{-1}), corresponding to 0, 0.96, 1.90, and 2.85 mmol L^{-1} of Si in the solution at each application. The second factor was seed inoculation with *Azospirillum brasilense* strains (strains Ab-V5 and Ab-V6) at a ratio of 50% each. The cultivar used was forage sorghum (Sorghum bicolor cv. BRS Ponta Negra). The combination of Si doses and inoculation with *A. brasilense* did not show a significant effect ($p>0.05$) on any of the productive characteristics of forage sorghum. Concerning individual effects, the use of different Si doses was significant for whole plant weight ($P<0.001$), number of live leaves ($P=0.007$), weight of live leaves ($P=0.002$), stalk weight ($P<0.001$), and panicle weight ($P<0.001$). The results indicated that silicon had a positive influence on the productive characteristics of forage sorghum, with a recommended dose of 8 kg ha-1 of Si associated with *A. brasilense*.
KEYWORDS: diazotrophic bacteria, off-season agricultural, *Sorghum bicolor*.

INTRODUÇÃO

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) tem ganhado crescente importância na alimentação animal devido à sua adaptabilidade a condições tropicais e menor demanda hídrica em comparação com outras culturas (PERAZZO et al., 2017). No entanto, para garantir um desenvolvimento adequado, é essencial fornecer não apenas os nutrientes necessários, mas também a quantidade adequada de água. Apesar de ser uma alternativa para períodos de seca, as flutuações climáticas podem expor o sorgo ao estresse hídrico, resultando em perdas de biomassa e comprometendo a produtividade, dependendo da intensidade (COSTA et al., 2016; PINHO et al., 2015). Diante desse cenário, uma estratégia promissora para mitigar os efeitos do estresse hídrico em diversas culturas é a aplicação de silício. Essa prática proporciona benefícios notáveis, como o reforço das paredes celulares, melhorando a capacidade das plantas de reter água e resistir à desidratação. Além disso, o silício desempenha um papel crucial na regulação da abertura e fechamento dos estômatos, otimizando o uso da água pelas plantas (SOUZA JUNIOR et al., 2021).

Além do desafio hídrico, o sorgo é frequentemente mencionado na literatura como uma cultura com alta exigência e resposta ao nitrogênio. No entanto, devido ao aumento nos custos dos fertilizantes nitrogenados sintéticos, busca-se alternativas que combinem alta produtividade com redução de custos. Uma dessas alternativas são as bactérias promotoras de crescimento, como o *Azospirillum brasilense* (LEITE et al., 2019). Essas bactérias, além de fixadoras de nitrogênio, podem fornecer parte do nitrogênio necessário

para a cultura, aumentando a produção e reduzindo a dependência de grandes quantidades de fertilizantes, além de diminuir a contaminação por nitrogênio reativo (MODESTO et al., 2021). O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos individuais e a interação entre a fertilização com silício e a inoculação com *Azospirillum brasilense* nas características produtivas do sorgo forrageiro durante o período de déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão – UFMA/CCCh, localizado no Município de Chapadinha, Região do Baixo Parnaíba, situada a 03°44'33" S de latitude e 43°21'21" W de longitude.

O clima predominante da região é o tropical úmido, segundo a classificação de Köppen (2013). As chuvas se concentram no primeiro semestre do ano cuja precipitação pluviométrica média é de 1.670 mm e temperatura média anual de 26,9 °C, com máxima média de 37°C e mínima de 22°C (INMET, 2018).

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 4 × 2, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (Si) (0, 4, 8 e 12 kg ha-1) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol L^{-1} de Si na solução em cada aplicação, enquanto o segundo fator foi a inoculação das sementes com as cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% de cada. O cultivar utilizada foi o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra).

O solo presente na área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura franco-argilosa. Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para a realização da caracterização química e textural do solo. Realizou-se a correção do solo de acordo com a necessidade identificada na análise de solo. Para isso, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 115,10%, sendo aplicados 2,3 toneladas por hectare para elevar a saturação de base para 60%, conforme recomendado para a cultura do sorgo.

A adubação de plantio, com os nutrientes NPK, foi feita manualmente e calculada com base na análise de solo e nas recomendações específicas. Foram aplicados 20 kg de N por hectare, 100 kg de P_2O_5 por hectare e 30 kg de K_2O por hectare. As características granulométricas do solo registradas foram de 70% de areia, 21% de argila e 9% de silte.

A área experimental abrangeu um total de 251 m², dividida em 40 parcelas de 6 m² cada (3 × 2 m). O espaçamento entre as linhas foi de 0,6 m, e entre as covas foi de 0,5 m, mantendo um espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 1 m entre os blocos (Figura 2). Cada parcela foi composta por 20 plantas, totalizando assim 800 plantas em toda a área experimental e 31.873 plantas/ há. A semeadura ocorreu de forma manual, com o auxílio de enxada para que fosse realizada a abertura das covas que possuíam aproximadamente 3-5 cm de profundidade, na qual foram usadas 3 sementes de sorgo por cova.

Para a inoculação da semente foi realizada a pesagem de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 ml do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) - Azospirillum Brasilense – Agrocete. Foram selecionadas duas plantas de cada parcela (plantas essas que pertenciam as linhas centras das parcelas e de altura uniforme) para realizar as medições e coletar dados das características produtivas, totalizando assim 80 plantas avaliadas. As avaliações foram: PPI – peso da planta inteira, NFV – número de folhas vivas, NFM – número de folhas mortas, PFV – peso de folhas vivas, PFM – peso de folhas mortas, PCOL – peso de colmo, PPA – peso de panícula, RFC – relação folha colmo, MSFV – matéria seca de folhas, MSC- matéria seca do colmo, MSP- matéria seca da panícula, MSPI- matéria seca de planta inteira.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizado com oito tratamentos e cinco repetições em um esquema fatorial 4x2 ($yij = \mu + Ti + Blj + eij$), em que as médias foram submetidas a análise de variância a 5% de probabilidade, quando significativo as médias foram ajustadas ao modelo linear ou quadrático utilizando procedimento do PROC MIXED do software estatístico SAS (2004), para avaliar os dados agronômicos e produtivos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito quadrático para o PPI ($p<0,001$), PFV ($p=0,002$), PCOL ($p<0,001$) e PPA ($p<0,001$) com ponto de máxima de 8,4375 kg ha^{-1}, 8,0 kg ha^{-1} e 9,125 kg ha^{-1} respetivamente (Figura 1 A, C e D). Houve efeito linear positivo utilizando doses de silício para a variável NFV ($P=0,007$) (Figura 1 B).

O peso de planta inteira foi influenciado pelos diferentes níveis de Si, isso pode ser explicado pela influência do número de folhas vivas, peso de folhas vivas, peso de colmo e peso de panícula onde a soma das variáveis apresentou plantas mais pesadas, o uso do Si pode ter vindo influenciar a planta a aumentar sua capacidade fotossintética, havendo assim maior desenvolvimento de algumas características a medida em que se aumentou os níveis de Si, isso pode estar associado à presença do elemento, que possibilita um bom desenvolvimento da estrutura foliar das plantas, possibilitando com que as folhas permaneçam eretas (MENEGALE et al., 2015).

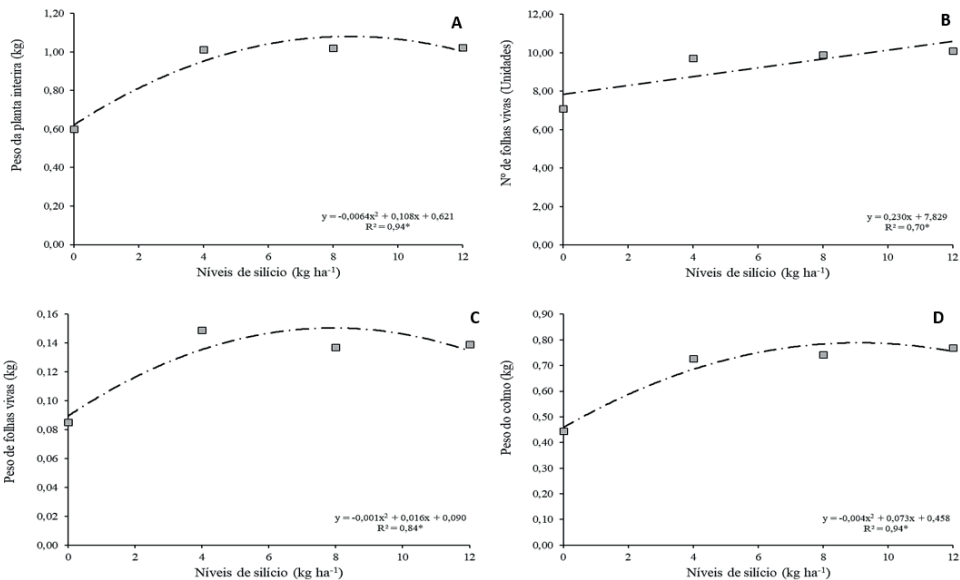



Figura 1: Regressões ajustadas para as variáveis peso da planta inteira (kg), número de folhas vivas (unidades), peso de folhas vivas (kg) e peso do colmo (kg) (Figuras A, B, C e D) respectivamente na cultura do sorgo forrageiro submetido a diferentes doses de Si e sem e com utilização de *Azospirillum brasilense*.

CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que o silício exerceu influência positiva nas características produtivas do sorgo forrageiro. Recomendando-se a dose 8 kg ha^{-1} de Si associado com *A. brasilense*.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, R. F. et al. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, p. 127–133, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METERIOLOGIA- INMET. Disponivel em : <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 23 junh. 2023.

LEITE, R. et al. Mitigation of Mombasa grass (Megathyrsus maximus) dependence on nitrogen fertilization as a function of inoculation with *azospirillum Brasilense*. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 43, 2019.

MENEGALE, M. L. C. et al. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. especial, p. 435- 454, 2015.

MODESTO, V. C. et al. Yield and Production Components of Corn Under Straw of Marandu Palisade Grass Inoculated With Azospirillum brasilense in the Low-Land Cerrado. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 2021.

PERAZZO, A. F. et al. Agronomic Evaluation of Sorghum Hybrids for Silage Production Cultivated in Semiarid Conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. June, p. 1–8, 2017.

PINHO, R. M. A. et al.Sorghum cultivars of different purposes silage. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 298–303, 2015.

STATISTICAL ANALYSES SYSTEM–SAS. Base SAS® 9.0 Procedures Guide; SAS Institute, Inc.: Cary, NC, USA, 2004.

SOUZA JUNIOR, J. P. et al. Silicon fertigation and salicylic acid foliar spraying mitigate ammonium deficiency and toxicity in Eucalyptus spp. Clonal seedlings. **Plos one**, v. 16(4), p. e0250436, 2021.

CAPÍTULO 20

MICROAGREGAÇÃO DO SOLO EM ÁREA COM PROCESSOS EROSIVOS EM ESTÁGIO AVANÇADO NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

Data de aceite: 01/04/2024

Francisco Xirlean Xavier Alves
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (UFRRJ)

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo (UFRRJ)

Mateus Belarmino da Silva
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Renato Sinquini de Souza
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo (UFRRJ)

Anderson Gomide Costa
Professor do Departamento de Engenharia (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: A erosão hídrica é um dos processos de degradação que mais afeta o solo em ambientes tropicais e subtropicais em todo o mundo. Quando este processo atinge um estágio mais avançado formam-se as voçorocas. O objetivo desse estudo foi avaliar a estrutura do solo através da análise da microagregação e verificar a influência desta no processo de formação de voçorocas em diferentes estágios no bioma Mata Atlântica. Foram coletadas amostras deformadas de terra, na camada superficial (0–10 cm), nas faces externas e internas das voçorocas. Para a avaliação da estabilidade de microagregados, três classes de argila foram quantificadas a saber: a) argila dispersível em água (ADA); b) argila refloculável em água (ARA); e c) argila não dispersível em água (AND). Os valores das três classes de argila foram influenciados pelos diferentes estágios de formação e estabilização das voçorocas apenas na fase interna. Através da análise dos resultados, verificou-se que avaliação da microagregação demonstra a dinâmica da fração argila nos processos erosivos em diferentes níveis de formação e estabilização de voçorocas Todas as classes de argilas analisadas apresentaram bons resultados, com destaque para ADA e AND, podendo atuar como indicador da qualidade física do solo.

PALAVRAS-CHAVE: argila não dispersível, dispersão de argila, estrutura do solo, floculação de argila.

SOIL MICROAGGREGATION IN AN AREA WITH ADVANCED EROSION PROCESSES IN THE ATLANTIC FOREST BIOME

ABSTRACT: Water erosion is one of the degradation processes that most affect soil in tropical and subtropical environments around the world. When this process reaches a more advanced stage, gullies are formed. The aim of this study was to assess soil structure through microaggregation analysis and to verify its influence on the gully formation process at different stages in the Atlantic Forest biome. Undisturbed soil samples were collected from the surface layer (0-10 cm) on the external and internal faces of the gullies. To assess the stability of microaggregates, three classes of clay were quantified: a) water-dispersible clay (WDA); b) water-reflocculable clay (WRA); and c) non-water-dispersible clay (ND). The values of the three clay classes were influenced by the different stages of formation and stabilization of the gullies only in the internal phase. The analysis of the results showed that the evaluation of microaggregation demonstrates the dynamics of the clay fraction in erosion processes at different levels of gully formation and stabilization. All the clay classes analyzed showed good results, with ADA and AND standing out, and can act as an indicator of the soil's physical quality.

KEYWORDS: clay dispersion, clay flocculation, non-dispersible clay, soil structure.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um dos processos que mais degradam os solos no mundo sendo responsável pela perda de 56% das áreas agricultáveis em todo o planeta (CORREIA et al, 2016) contribuindo para um declínio de 10% na produção agrícola e com perspectivas de remoção de 75 bilhões de toneladas de solo até o ano de 2050 (FAO, 2022). Esse processo de degradação ocorre a partir do momento em que há ruptura do equilíbrio natural existente no solo, e a ação dos fatores climáticos, como a chuva e o vento, passa a ser suficiente para o desequilíbrio desse sistema (PEREIRA, 2003). Ocasionada, principalmente, pelo manejo não conservacionista associado à outras práticas como a remoção da cobertura vegetal que mantém o equilíbrio ecológico do agroecossistema. Sem a proteção do solo, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície descoberta, que quando se situa em áreas com declives acentuados, causam perda de solo, água, matéria orgânica, fertilizantes, sementes, defensivos agrícolas. Adicionalmente este processo diminui a eficiência operacional das máquinas e implementos, contribuindo para a queda da produtividade e consequentemente aumento do custo da produção e a redução do valor da terra.

O processo erosivo tende a se agravar quando não há intervenções que possam minimizar os efeitos no solo, o que possibilita a evolução do processo erosivo atingindo o seu nível mais avançado de degradação que são as voçorocas. Nesse estágio, os fluxos superficiais e os sub superficiais, bem como, os diversos tipos de movimentos de massa podem atuar de forma isolada ou em conjunto na sua formação e evolução. Para o controle do processo erosivo, tornam-se necessárias ações de conservação. Para isso torna-se necessária a compreensão das propriedades do solo, em especial a agregação do solo.

Com base no exposto e diante da necessidade de fornecer subsídios para o entendimento e monitoramento dos processos de degradação, esse estudo teve como objetivo avaliar a estrutura do solo através da análise da microagregação no processo de formação de voçorocas em diferentes estágios no bioma Mata Atlântica.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Seropédica (RJ), localizado entre as coordenadas 22° 44′ 38″ de latitude sul, 43° 42′ 28″ de longitude oeste (Figura 1), na região oeste da Baixada Fluminense. O clima é tropical subúmido classificado como Aw (ALVARES et al., 2013). Na região de estudo foram selecionadas, em uma mesma encosta, quatro voçorocas, previamente classificadas com base no estágio de formação, a saber: inicial (IN), intermediaria (INT), madura (MA), e senil (SE) segundo o método descrito por Oka-Fiori e Soares (1976), a partir de imagens do Google Earth 2022, e validado por meio de idas ao campo.

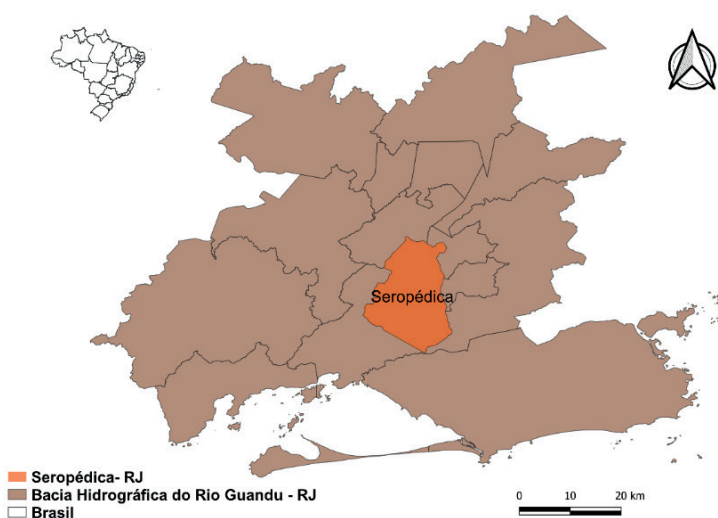



Figura 1: Localização do Município de Seropédica-RJ. Fonte: Autores (2023).

Para a avaliação da estabilidade de microagregados, três classes de argila foram quantificadas conforme o método proposto por Melo et al. (2019), com adaptações em Melo et al. (2021), a saber: a) argila dispersível em água (ADA), classe de argila que é mecanicamente desagregável em água e não flocula em suspensão; b) argila refloculável em água (ARA), classe de argila mecanicamente desagregável e flocula em suspensão; e c) argila não dispersível em água (AND), classe de argila que não é mecanicamente desagregável. Posteriormente os dados de ADA, ARA e AND foram corrigidos em relação à porcentagem de argila total nos agregados.

O estudo foi analisado estatisticamente em esquema fatorial 4 × 2 em delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram analisados quanto a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. As variáveis que não apresentarem distribuição normal ou homogeneidade foram transformadas de acordo com o teste de Box-Cox e foram novamente testadas. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste de F (ANOVA) quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos (variáveis transformadas ou não) e suas médias comparadas pelo teste de Tukey. Nos casos em que a transformação dos dados foi ineficiente, o teste de Kruskall-Wallis seguido pelo critério de diferença mínima significativa de Fisher foram utilizados para a avaliação das voçorocas e o teste de Wilcoxon foi utilizado para comparar variáveis entre as faces. Todos os testes foram realizados à 5% de significância pelo Software R (R CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das três classes de argila foram influenciados pelos diferentes estágios de formação e estabilização das voçorocas apenas na fase interna (Tabela 1). A dispersão da fração argila é um atributo dinâmico no solo. Portanto, a estabilidade dos agregados é indicadora da resistência estrutural do solo frente à agentes disruptivos, tais como gotas de chuva ou revolvimento mecânico, sob condições de campo (MELO et al., 2019; PINTO et al., 2022).

Tabela 1: Estabilidade de microagregados do solo em voçorocas em diferentes estágios de formação (Inicial; Avançada; Madura; Senil), na profundidade de 0-10 cm, nas faces externa e interna das voçorocas no município de Seropédica, RJ

Estágios	ADA		ARA		AND	
	----(%)----					
	Externa	**Interna**	**Externa**	**Interna**	**Externa**	**Interna**
IN	36,23 Aa	0,10 Bb	0,00 Ab	0,64 Ba	63,77 Ab	99,26 Aa
INT	47,26 Aa	0,81 Bb	0,00 Ab	4,93 Aa	52,74 Ab	94,27 Aa
MA	45,86 Aa	23,07 Ab	1,37 Aa	4,68 Aa	52,76 Ab	72,25 Ba
SE	34,54 Aa	35,73 Aa	0,00 Aa	0,00 Ca	65,46 Aa	64,27 Ba
CV%	29,10		151,57		11,44	

Médias seguidas de letras maiúsculas na coluna não diferem as voçorocas pelo Teste de Kruskal-Wallis + diferença mínima significativa de Fisher. Médias seguidas de letras minúscula na linha não diferem as faces pelo Teste de Kruskal-Wallis + Teste de Wilcoxon. Argila dispersível em água (ADA); argila refloculável em água (ARA) e argila não dispersível (AND)

Para a classe de argila dispersível em água (ADA) foi verificado padrão crescente nos valores em função do grau de formação e estabilização das voçorocas. Os maiores valores de ADA foram observados nos estágios de SE e MA (35,73 e 23,07%, respectivamente) em comparação aos estágios de INT (0,81%) e IN (0,10%). Esse padrão pode relacionado a intensa remoção dessa argila nos estágios de formação iniciais (IN e INT), já que a mesma é facilmente deslocada, e nos estágios com maior estabilização do processo erosivo, o aumento dos teores de argila total explica o aumento dos teores da classe de ADA. A análise da classe de ADA avalia como a argila do solo responde às forças mecânicas e à hidratação; logo, é uma avaliação da estabilidade dos microagregados (IGWE; OBALUM, 2013; MELO et al., 2019, PINTO et al., 2022). Comparando entre as faces, houve diferença entre os estágios, com exceção do estágio de SE, em que os valores de ADA entre as duas faces tendem ao equilíbrio, podendo ser explicado pela estabilização do processo erosivo. Esse padrão foi observado também para as classes de ARA e AND (Tabela 1).

Nos estágios de INT e MA foram quantificados os maiores valores de argila refloculável em água (ARA), seguidos pelo estágio IN (Tabela 1). Vale destacar que os valores dessa classe de argila em ambas as faces do estágio de SE foram iguais a zero. Essa classe é supostamente mais transportável do que a classe de argila não dispersável em água (AND), uma vez que a ARA permanece em suspensão enquanto distúrbios mecânicos são experimentados na solução do solo, podendo ser citada a chuva como um exemplo. Quando os distúrbios mecânicos são reduzidos, a classe de ARA tem maior potencial de agregação quando comparada à ADA (MELO et al., 2019; PINTO et al., 2022). Entretanto, a classe ARA não é um indicativo de resistência contra forças mecânicas, mas apenas do balanço de cargas na superfície das partículas, comumente observado em solos extremamente oxídicos, como os Latossolos (MELO et al., 2019).

Em relação a classe de AND, esta apresentou padrão oposto aos resultados da classe ADA, tanto entre os estágios como entre as faces. Nos estágios de IN e INT foram observados os maiores valores dessa classe de argila e os menores valores foram verificados em MA e SE (Tabela 1). Na face interna das voçorocas IN, INT e MA foram quantificados os valores mais elevados de AND em comparação a fase externa. Esse padrão pode estar relacionado a estabilização do processo erosivo ocasionado pela vegetação presente na área e a incorporação matéria orgânica do solo, decorrente do aporte de matéria orgânica na forma de serrapilheira, que promove uma maior cimentação das partículas contribuindo para a redução da dispersão da fração argila. A classe de AND é indicativo de um maior grau de agregação, e pode ocorrer devido a vários processos que envolvem componentes orgânicos e inorgânicos favorecendo a ligação das partículas e/ou quando a carga líquida dispersiva é supostamente zero (RENGASAMY et al., 2016; MELO et al., 2019; PINTO et al., 2022).

CONCLUSÕES

Os diferentes estágios de formação e estabilização de voçorocas estão afetando de maneira diferenciada a microagregação do solo, padrão que é mais facilmente observável nas áreas mais impactadas pelo processo de erosivo.

A avaliação da estrutura do solo através da microagregação, apresentou resultados que demonstram a dinâmica da fração argila nos processos erosivos em diferentes níveis de formação e estabilização de voçorocas. Todas as classes de argilas analisadas apresentaram bons resultados, com destaque para argila dispersível em água e argila não dispersível, podendo atuar como indicador da qualidade física do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Associação Pró-gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio paraíba do Sul – AGEVAP, Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, Programa Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ e aos Programas de Pós-graduação em Ciências do Solo – PPGA-CS e Engenharia Agrícola e Ambiental - PGEAAmb.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARES, C.A. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013.

CORREA, S.W. et al. Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. **Catena** v. 147, p. 110–124, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Catálogo de publicações da Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 2022 – ISBN 978-92-5-136969-2. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc2323en>. Acesso: 03 de outubro de 2023.

IGWE, C.A. & OBALUM, S.E. Microaggregate Stability of Tropical Soils and its Roles on Soil Erosion Hazard Prediction. **Advances in Agrophysical Research**, p. 175-198, 2013.

MELO, T.R. et al. Clay behavior following macroaggregate breakdown in Ferralsols. **Soil Tillage Research Soil**, v. 207, p. 104862, 2021.

MELO, T.R. et al. A new approach on the structural stability of soils: Method proposal. **Soil Tillage Reserach Soil**, v. 193, p. 171-79, 2019.

Oka-Fiori, C., & Soares, P.C. Aspectos evolutivos das voçorocas. **Notícia Geomorfológica.** Campinas/SP, v. 32, p. 114-124, 1976.

PEREIRA, S.B. et al. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 423-429, 2003.

PINTO, L.A.S.R. et al. Stability, labile organic carbon, and glomalin of biogenic aggregates in sandy soils under management systems in the subtropical region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0220074, 2022.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org.

RENGASAMY, P., TAVAKKOLI, E., MCDONALD, G.K. Exchangeable cations and clay dispersion: net dispersive charge, a new concept for dispersive soil. **European Journal Soil Science.** v. 7, p. 659–665, 2016.

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO E A RELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NO JARDIM BOTÂNICO DA UFRRJ

Data de aceite: 01/04/2024

Gabriel Coutinho Oliveira de Lemos
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Ingryd Cardoso Estaky Cabral
Estudante de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (UFRRJ)

Marcelo Antoniol Fontes
Analista na Embrapa Agrobiologia

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos (UFRRJ)

Cristiane Figueira da Silva
Pós-Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

RESUMO: O estudo objetivou avaliar a influência de espécies vegetais na atividade enzimática (AE) do solo, bem como a relação deste atributo microbiológico com as propriedades químicas do solo, em áreas sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0-10 cm, em uma topossequência (terços superior, médio e inferior) com pequena variação na declividade, porém com coberturas vegetais distintas. Os terços superior e inferior são cobertos por espécies arbóreas de diferentes famílias botânicas; e o terço médio por gramíneas. Foi realizada a caracterização da fertilidade do solo, a quantificação da atividade enzimática através da hidrólise do diacetato de fluoresceína,as frações da matéria orgânica - MO(carbono orgânico total – COT; CO particulado – COP; CO associado aos minerais – COAM; MO leve – MOL) e os atributos químicos do solo.Verificou-se maior AE do solo sob as espécies arbóreas e as gramíneas, nos terços mais elevados da paisagem. Correlações foram observadas entre a AE e as frações da MOe alguns atributos químicos (pH, H+Al, Na^+, K^+, P e Valor T) do solo. Verificou-se queas espécies arbóreas e as gramíneas nos terços mais elevados da paisagem estão contribuindo para maior AE do solo, e as correlações sugerem que menores teores de P e maiores teores das frações da MO, bem como os maiores valores de pH e teores de H+Al, Na^+ e K^+e Valor T estimulam a AE do solo.

PALAVRAS-CHAVE: diacetato de fluoresceína, espécies arbóreas, gramíneas, matéria orgânica do solo.

SOIL ENZYME ACTIVITY AND THE RELATIONSHIP WITH SOIL CHEMICAL STTRIBUTES IN THE UFRRJ BOTANICAL GARDEN

ABSTRACT: The study aimed to evaluate the influenceof plant species on the soil enzymatic activity (AE), as well as the relationship between this microbiological attribute and the chemical attributes of the soil, in areas under different vegetation covers, in Jardim Botânico of the Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Soil samples were collected at the end of the rainy season, at a depth of 0-10 cm, in a toposequence (upper, middle and lower thirds) with small variation in slope, but with different vegetation covers. The upper and lower third is covered by tree species from different botanical families; and the middle third by grasses. Quantification of AE was carried out through thefluorescein diacetatehydrolysis. The fractions of organic matter - MO (total organic carbon – TOC; particulate OC – COp; associated with minerals OC – COam; light MO – MOL) and other chemical attributes of the soil were also analyzed. There was greater soil AE under tree species and grasses, in the highest thirds of the landscape. Significant correlations were observed between AE and MO fractions (COT, COp, COam and MOL) and other chemical attributes (pH, H+Al, Na^+, K^+, P and T-value) of the soil. Thus, tree species and grasses in the highest thirds of the landscape are promoting greater soil AE, and correlations suggest that lower levels of P and higher levels of MO fractions, as well as pH, H+Al, Na^+ $K^+$and T-value stimulate soil AE.
KEYWORDS: fluorescein diacetate, tree species,grasses, soil organic matter.

INTRODUÇÃO

O uso de informações acerca de propriedades ou processos biológicos do solo, representa uma importante ferramenta para a avaliação e interpretação dos efeitos de interferências naturais ou antrópicas no solo, especialmente porque este compartimento do ecossistema é produto da atuação do clima e dos organismos sobre o material de origem ao longo do tempo, sendo, portanto, considerado uma variável integradora.

A atividade enzimática vem sendo utilizada como bioindicadora da qualidade do solo devido a relevância na dinâmica da matéria orgânica e em outros processos que ocorrem no solo, como aciclagem de nutrientes e diversidade funcional (LIU et al., 2021), e também em decorrência da maioria dos estudos evidenciarem a responsividade deste atributo - considerado indicador de funções bioquímicas edáficas - as modificações impostas ao solo (LIUet al., 2021; MATOS et al., 2020; PETTER et al., 2019). Algumas enzimas importantes, como a desidrogenase, o diacetato de fluoresceína e a arilsulfatase, estão envolvidas nos ciclos biogeoquímicos (C, N e S) e, consequentemente, podem refletir mudanças nos processos metabólicos do solo (NOTARO et al. 2018).

Desta forma, a caracterização da atividade enzimática do solo, assim como o estudo da sua variação, compreendendo os fatores e processos atuantes, **é** de grande importância

para direcionar ações de preservação, adoção de práticas de manejo sustentáveis, bem como a manutenção de áreas de conservação.

O objetivo desta pesquisa foi de caracterizar a atividade enzimática do solo, por meio da hidrólise de diacetato de fluoresceína, e a sua relação com as frações da matéria orgânica e os demais atributos químicos do solo, em uma topossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Jardim Botânico do campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizado em Seropédica, RJ. O município está situado nas coordenadas geográficas de latitude sul 22°45'32.3" e longitude oeste 43°41'32.3", sob o domínio do bioma Mata Atlântica, com clima tropical sub úmido classificado por Aw segundo Koppen. Os pontos de amostragem foram distribuídos em três áreas, localizadas em uma topossequência (terços superior, médio e inferior) com pequena variação na declividade, porém com coberturas vegetais distintas. O terço superior é dominado por espécies arbóreas das famílias botânicas Rubiaceae, Lecythidaceae, Sapindaceae, Chrysobalanaceae e Fabaceae; o terço médio é caracterizado por vegetação rasteira da família Poaceae e ausência de espécies arbóreas; e o terço inferior é composto por árvores das famílias Euphorbiaceae, Fabaceae, Meliaceae, Myrtaceae e Sapotaceae. Os terços superior e médio apresentam textura argilosa na camada superficial, e o terço inferior textura arenosa (LIMA et al., 2019).

Em cada uma das áreas, com o auxílio de um enxadão, foram coletadas, na profundidade de 0-10 cm, no final do período chuvoso, quatro amostras simples de solo para perfazer uma amostra composta, em um total de seis amostras compostas por área. Nos terços com a presença de espécies arbóreas, as coletas foram realizadas sob a copa das árvores. Após a coleta, para avaliação dos atributos do solo, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm. As amostras utilizadas para as análises microbiológicas foram armazenadas a 4ºC até o seu processamento.

Foram realizadas as seguintes análises químicas: a) pH em água na relação 1:2,5 (solo:água); b) Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1}, analisados por titulometria: c) P, K^{+} e Na^{+} extraídos pelo método Mehlich^{-1} e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente, d) H+Al avaliados a através de solução de acetato de cálcio 0,025 mol L^{-1}, e carbono orgânico total pela oxidação via úmida, com dicromato de potássio segundo Teixeira et al. (2017). A partir dos dados obtidos foram calculados o Valor S (soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio) e o Valor T.

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo para obtenção das frações carbono orgânico particulado (COp) foi realizado de acordo com Cambardella e

Elliot (1992). O carbono orgânico associado aos minerais (Coam) foi obtido pela diferença entre o COT e o COp. A determinação da matéria orgânica leve em água (MOL) foi realizada segundo Anderson e Ingram (1989).

Para avaliação da atividade enzimática, foi realizada a quantificação da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) de acordo com SCHNURER;ROSSWAL (1982). Foi utilizado 1,0 g de terra e solução estoque de FDA. A leitura foi realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda de 490 nm para a determinação da quantidade de fluoresceína hidrolisada. A atividade de FDA foi expressa em μg Fluoresceína g solo^{-1} h^{-1}.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade da distribuição dos erros (teste de Lillifors / SAEG 5.0) e homogeneidade das variâncias (testes de Cochran e Bartlett / SAEG 5.0). Quando os dados não apresentaram distribuição normal, foi realizada a sua transformação logarítmica para posterior comparação dos valores médios por meio do teste T de Bonferroni, com a utilização do programa estatístico Sisvar 4.6. Também foi realizada a análise de agrupamento por meio do programa Past.exe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As frações da matéria orgânica do solo,assim como o carbono orgânico total variaram entre os terços da paisagem (Tabela 1).Maiores teores de COT, carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) foram observados nos terços (superior e médio) mais elevados da paisagem, com a presença de espécies arbóreas e gramíneas, respectivamente (Tabela 1). Embora não tenha sido observada diferença estatística para a matéria orgânica leve, verifica-se uma tendência de maiores teores, também nos terços superior e médio (Tabela 1).

Tabela 1: Atividade enzimática (FDA) e frações da matéria orgânica do solo (profundidade de 0-10 cm) em áreas com diferentes coberturas vegetais no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Áreas	FDA	COT	COp	Coam	MOL
	μgFluoresc.g^{-1} SS h^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}
Superior	140,20 a	29,73 a	5,40 ab	24,33 a	0,53 a
Médio	128,43 a	27,40 a	8,22 a	19,17 ab	0,55 a
Inferior	39,89 b	18,75 b	3,27 b	15,48 b	0,24 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Test T de Bonferroni a 5%. FDA: Hidrólise de diacetato de fluoresceína; COT: Carbono orgânico total; COp: Carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; MOL: matéria orgânica leve
Terço Superior: Presença de cobertura florestal com predominância de espécies das famílias Fabaceae, Lecythidaceae e Euphorbiaceae;
Terço Médio: Predominância de Poaceae (gramíneas) rasteira e ausência de árvores;
Terço Inferior: Presença de espécies arbóreas com predominância das famílias Fabaceae, Sapotaceae; Euphorbiaceae e Apocynaceae.

Em relação à atividade enzimática do solo, avaliada pela hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), foram observados maiores valores nos terços superior e médio da paisagem, sob as espécies arbóreas e gramíneas, respectivamente (Tabela 1). Tal padrão pode estar associado aos maiores teores de matéria orgânica nessas áreas (SILVA et al., 2018), o que é confirmado através da análise de correlação entre estes atributos do solo (Tabela 2). Foram observadas correlações significativas da FDA com o COT e as frações COp, Coam e MOL (Tabela 2). Além de correlações significativas com os demais atributos químicos do solo, como o pH, H+Al, Na^+, K^+ e P (Tabela 2). A influência da matéria orgânica do solo na atividade enzimática tem sido reportada em vários trabalhos (MAURYA et al., 2020; SILVA et al., 2021).

Tabela 2. Correlação de Pearson entre a atividade enzimática (FDA) e as frações da matéria orgânica e os demais atributos do solo (profundidade de 0-10 cm) em áreas com diferentes coberturas vegetais no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Atributos	COT	COP	COAM	MOL	pH	H+Al	Na	K	P	Valor T
FDA	0,74***	0,47*	0,65**	0,50*	0,48*	0,59*	0,48*	0,66**	-0,54*	0,74***

FDA: Hidrólise de diacetato de fluoresceína; COT: Carbono orgânico total; COp: Carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; MOL: matéria orgânica leve
*Significativo a ≤0,05; **Significativo a <0,01; ***Significativo a < 0,001

A quantidade e a qualidade do substrato adicionado ao solo são importantes para o aumento da atividade microbiana (SILVA et al., 2018), e a hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) - realizada por uma variedade de enzimas, incluindo esterase, proteases e lipases - pode ser usada como um indicador da atividade microbiana (NIKAEEN et al., 2015;KOMILIS; KONTOU; NTOUGIAS, 2011).

A análise de agrupamento, integrando os atributos químicos e microbiológicos do solo, mostrou a formação de dois grupos distintos (Figura 1). O primeiro grupo, formado apenas pelo terço inferior, se distanciou em aproximadamente 80% do segundo grupo, constituído pelos terços superior e médio. Maior similaridade (~55%) foi observada entre os terços superior e médio, com a presença de espécies arbóreas e gramíneas, respectivamente (Figura 1).

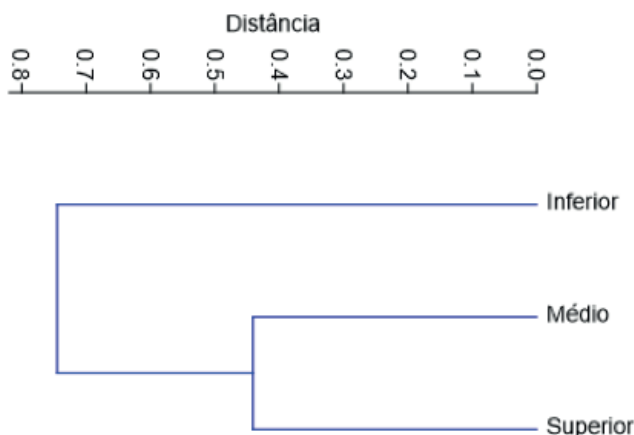



Figura 1: Análise de agrupamento(Ligação simples; Método de Gower) integrando as variáveis atividade enzimática (FDA),as frações da matéria orgânica (COT, Cop, COam e MOL) e os demais atributos químicos (pH, H+Al, Na^+, K^+, P e Valor T) do solo (profundidade de 0-10 cm) em áreas com diferentes coberturas vegetais no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Terço Superior: Presença de cobertura florestal com predominância de espécies das famílias Fabaceae, Lecythidaceae e Euphorbiaceae;

Terço Médio: Predominância de Poaceae (gramíneas) rasteira e ausência de árvores;

Terço Inferior: Presença de espécies arbóreas com predominância das famílias Fabaceae, Sapotaceae; Euphorbiaceae e Apocynaceae.

CONCLUSÕES

As espécies arbóreas (terço superior) e as gramíneas (terço médio) presentes nos terços mais elevados da paisagem estão contribuindo para uma maior atividade enzimática do solo, e as correlações sugerem que menores teores de P e maiores teores das frações (carbono orgânico total, carbono orgânico particulado, carbono orgânico associado aos minerais, matéria orgânica leve) da matéria orgânica, bem como os maiores valores de pH e teores de H+Al, Na^+, K^+ e o Valor T (capacidade de troca catiônica) estimulam a atividade enzimática do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. CAB Internatiaonal. 1989. 171p.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. **Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence**. Soil Science Society of America Journal, v.56, p.777-783, 1992.

KOMILIS, D.; KONTOU, I.; NTOUGIAS, S. **A modified static respiration assay and its relationship with an enzymatic test to assess compost stability and maturity**. Bioresour. Technol. 2011, 102, 5863–5872.

LIU, C.; SONG, Y.; DONG, X.; WANG, X.; MA, X.; ZHAO, G.; ZANG, S. **Soil enzyme activities and their relationships with soil C, N, and P in Peatlands from diferente types of Permafrost regions**, Northeast China. Frontiers in Environmental Science, v. 9, 2021. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.670769

MATOS, P.S.; FONTE, S.J.; LIMA, S.S.; PEREIRA, M.G.; KELLY, C.; DAMIAN-JÚNIOR M; FONTES, M.A.; CHAER, G.M.; BRASIL, F.C.; ZONTA, E. **Linkages among Soil Properties and Litter Quality in Agroforestry Systems of Southeastern Brazil**. Sustainability, v. 12, p. 9752, 2020. https://doi.org/10.3390/su12229752

NOTARO, K. A.; MEDEIROS, E. V., DUDA, G. P.; MOREIRA, K. A.; BARROS, J. A.; SANTOS, U. J.; LIMA, J. R. S.; MORAES, W. S. **Enzymatic activity, microbial biomass and organic carbon of Entisols from Brazilian tropical dry forest and annual and perennial crops.** Chilean Journal of Agricultural Research, 78, 68-77, 2018. https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000100068

NIKAEEN, M.; NAFEZ, A.H.; BINA, B.; NABAVI, B.F.; HASSANZADEH, A. **Respiration and enzymatic activities as indicators of stabilization of sewage sludge composting.** Waste Manag. 2015, 39, 104–110.

PETTER, F. A.; LEITE, L. F. C.; MACHADO, D. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; LIMA, L. B.; FREDDI, O. S.; ARAÚJO, A. S. F. **Microbial biomass and organic matter in an oxisol under application of biochar**. Bragantia, 78, 109-118, 2019. https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018237

SCHNURER, J.; ROSSWALL, T. **Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter**. Applied Environment Microbiololgy 43:1256-1261, 1982.

SILVA, C. P.; MENDE FILHO, P. F.; GOMES, V. F. F.; MARTINS, C. M.; CUNHA, C. S. M.; LOBATO, M. G. R. **Glomalin-related soil protein content in areas of degraded and revegetated Caatinga in the municipality of Irauçuba**. Journal of Agricultural Science,v. 10, p. 1-11, 2018. https://doi.org/10.5539/jas.v10n1p302

SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; PINTO, L.S.R.; TEODORO, S.A.; FONTES, M.A. GAIA-GOMES, J.H. SILVA, E.M.R.**Soil attributes as indicators of the stabilization process of erosion in gullies at different formation stages in the southeast region of Brazil.** Rev. Ambient. Água vol. 16 n. 4, e2632, 2021.

TEIXEIRA, P.C., DONAGEMMA, G.K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W.G., 2017.**Manual de Métodos de Métodos de Análise de Solo.** Embrapa, Brasília. 573p.

MAURYA, S.; ABRAHAM, J. S.; SOMASUNDARAM, S.; TOTEJA, R.; GUPTA, R.; MAKHIJA, S**. Indicators for assessment of soil quality: a mini-review.** EnvironmentalMonitoring and Assessment, v. 192, p. 604, 2020. http://dx.doi.org/10.1007/s10661-020-08556-z

LIMA, S.S.; CABREIRA, W.V.; SILVA, R.G.; SILVA, R.M.; SANTOS, R.N.; FERNANDES, D.A.C.; PEREIRA, M.G. **Diversidade da fauna epígea sob diferentes coberturas vegetais no jardim botânico da UFRRJ**. In: Meio Ambiente com Sustentabilidade 2. Capítulo 8. 2019.

CAPÍTULO 22

PERFIL DE RESISTÊNCIA A METAIS PESADOS EM BACTÉRIAS DO GÊNERO *ENTEROBACTER* PROVENIENTES DE CAMA DE AVIÁRIO DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Data de aceite: 01/04/2024

Giselle Pereira de Azevedo
Estudante de graduação em Farmácia (UFRRJ)

Gustavo Rodrigues Saldanha
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

Paula Fernanda Alves Ferreira
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

Cyndi dos Santos Ferreira
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

Pablo Henrique Narciso Marques
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Irene da Silva Coelho
Professora do Departamento Microbiologia e Imunologia Veterinária(UFRRJ)

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil de resistência a metais pesados em *Enterobacter* isoladas durante o processo de compostagem de cama de aviário do sistema convencional e orgânico de produção.Foram isoladas e identificadas doze cepas bacterianas do gênero *Enterobacter* durante 125 dias de compostagem dos resíduose,o efeito de cobre, zinco e chumbo no crescimento dessas bactérias foi avaliado pela técnica de microdiluição em caldo.Os isolados foram identificados como *Enterobacter asburiae*(2),*Enterobacter kobei*(1) e*Enterobacter cloacae*(9). A maioria apresentou crescimento elevado nas concentrações mais baixas dos metais, principalmente no cobre e zinco por serem considerados micronutrientes essenciais no desenvolvimento dos microrganismos. O chumbo não afetou o crescimento nas concentrações mais baixas, devido à presença de nitrogênio na composição do sal utilizado, um macronutriente essencial para os microrganismos. Nas concentrações de 2,4 $g.L^{-1}$de cobre, 2,88 $g.L^{-1}$de zinco e 0,72 $g.L^{-1}$de chumbo, houve uma redução acentuada na curva de crescimento dos isolados. Além disso, não houve diferença no padrão de resistência aos metais pesados das bactérias isoladas da cama de aviário do modelo convencional em relação ao orgânico. Assim, resíduos animais como a cama de aviário, independente do sistema

de produção, carreiam bactérias resistentes a metais pesados, representando um risco a saúde pública quando utilizados como fertilizante orgânico na agricultura.
PALAVRAS-CHAVE: chumbo, cobre, fertilizante orgânico, resíduos animais, zinco.

RESISTANCE PROFILE TO HEAVY METALS IN BACTERIA OF THE GENRE ENTEROBACTER FROM POULTRY LITTER FROM DIFFERENT PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the resistance profile to heavy metals in Enterobacter isolated during the composting process of poultry litter from conventional and organic production systems. Twelve bacteria of the genus Enterobacter were isolated and identified during 125 days of waste composting and the effect of copper, zinc and lead on the growth of these bacteria was evaluated using the broth microdilution technique. The isolates were identified as Enterobacter asburiae (2), Enterobacter kobei (1) and Enterobacter cloacae (9). The majority showed high growth at the lowest concentrations of metals, mainly copper and zinc as they are considered essential micronutrients in the development of microorganisms. Lead did not affect growth at lower concentrations, due to the presence of nitrogen in the composition of the salt used, an essential macronutrient for microorganisms. At concentrations of 2.4 $g.L^{-1}$ of copper, 2.88 $g.L^{-1}$ of zinc and 0.72 $g.L^{-1}$ of lead, there was a marked reduction in the growth curve of the isolates. Furthermore, there was no difference in the pattern of resistance to heavy metals of bacteria isolated from poultry litter from the conventional model in relation to the organic model. Thus, animal waste such as poultry litter, regardless of the production system, carries bacteria resistant to heavy metals, representing a risk to public health when used as organic fertilizer in agriculture.
KEYWORDS: animal waste, copper, lead, organic fertilizer, zinc

INTRODUÇÃO

Muitos desafios são enfrentados pela avicultura no Brasil, sendo um deles o gerenciamento dos resíduos gerados, como a cama de aviário. Esse resíduo é um material utilizado na forração das instalações onde os animais permanecem para evitar o contato direto do animal com o piso, servir de substrato para a absorção da água, incorporação de fezes, urina e restos de alimentos não aproveitados ou deteriorados (VIRTUOSO et al., 2015).Esse material possui elevado teor nutricional e, devido a isso é muito utilizado na agricultura como fertilizante orgânico. No entanto, ele também pode conter microrganismos patogênicos, como bactérias do gênero *Enterobacter* que são importantes patógenos causadores de infecções em humanos e animais, podendo ainda apresentar diferentes genes de resistência a antimicrobianos devido a utilização indiscriminada desses fármacos na produção animal (CABRAL, 2016).

Além dessa problemática, tem-se ainda a questão dos metais pesados, como o cobre e o zinco, que por serem utilizados como aditivos na ração do animale, pouco absorvidos pelo organismo animal, são facilmente expelidos, podendo contaminar o solo e a água

(OLIVEIRA, 2019; YAZDANKHAH et al., 2018). Além disso, a presença de metais pesados pode favorecera persistência das bactérias resistentes a antimicrobianos. Já é sabido que microrganismos que são expostos a contaminação ambiental de antimicrobianos e metais pesados estão sujeitos a co-seleção da resistência de ambos, processo esse que pode ocorrer por mecanismos de co-resistência e resistência cruzada (IMRAN et al., 2019). Tal fato constitui um grave potencial de ameaça saúde pública, uma vez que bactérias resistentes a antimicrobianos limitam a eficiência destes, dificultando o tratamento de infeções (IMRAN et al., 2019).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil de resistência a metais pesados em *Enterobacter* isoladas durante o processo de compostagem de cama de aviário do sistema convencional e orgânico de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

O crescimento de doze cepas bacterianas do gênero *Enterobacter* previamente isoladas e identificadas por Ferreira et al. (2021), provenientes de compostagem de cama de aviário do sistema convencional e orgânico de produção, foi avaliado na presença de cobre, zinco e chumbo por meio da técnica de microdiluição em caldo.

Inicialmente, as cepas foram cultivadas em caldo Mueller Hinton a 37°C por 24 horas e a concentração celular foi ajustada. Os ensaios foram realizados em microplacas de poliestireno de 96 poços com um volume total de 100 μL por poço, composto por 97,5% de caldo TSB e 2,5% de inoculo. Seis diferentes concentrações de soluções de sulfato de cobre pentahidratado(0,3; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8 e 9,6 g.L^{-1}), sulfato de zinco heptahidratado(0,18; 0,36; 0,72; 1,44; 2,88 e 5,76 g.L^{-1}) e nitrato de chumbo(0,09; 0,18; 0,36; 0,72; 1,44 e 2,88 g.L^{-1}) foram utilizadas. Foram incluídos controles positivos (TSB sem metal + bactéria) e brancos (sem inóculo) para cada concentração dos metais. As microplacas foram incubadas a 35°C por 24 horas. O cálculo foi realizado com base nas leituras espectrofotométricas antes e após a incubação, com o objetivo de determinar o crescimento bacteriano. Aconcentração inibitória mínima (CIM) foi determinada como a concentração de metal em g.L^{-1} capaz de inibir 95% do crescimento bacteriano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os isolados foram identificados como pertencentes as espécies*Enterobacter asburiae* (2), *Enterobacter kobei*(1) e *Enterobacter cloacae*(9). A curva de crescimento desses isolados não apresentou comportamento discrepante entre os dois sistemas de produção, convencional e orgânico (Figura 1). Todos os isolados apresentaram um elevado crescimento nas concentrações mais baixas de metais, com ápice nas concentrações de 0,60 g.L^{-1} de cobre e 0,36 g.L^{-1}de zinco e chumbo. Em relação a cobre e zinco, tal resultado já era esperado pois esses micronutrientes são essenciais para a saúde de todos os

organismos vivos, incluindo os microrganismos. Em um estudo realizado por Bravo (2018), ao avaliar a resistência a metais de bactérias isoladas de ambiente aquático, detectou elevado crescimento bacteriano em concentrações baixas de cobre, chumbo, cromo e zinco. O chumbo, por sua vez, é um dos contaminantes ambientais mais comuns, tóxico para os homens e animais, e sem nenhuma função fisiológica conhecida no organismo. No entanto, como a fonte de chumbo utilizada foi o nitrato, um sal que se dissocia em meio aquoso e libera nitrogênio que é indispensável para os organismos, houve crescimento bacteriano nas menores concentrações de chumbo.

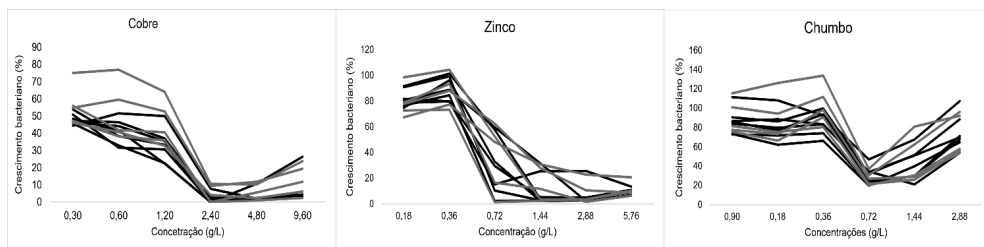



Figura 1: Curva de crescimento bacteriano de isolados de *Enterobacter*provenientes de camas de aviário convencional (cinza) e orgânica (preto) em diferentes concentrações de cobre, zinco e chumbo.

A curva de crescimento apresentou uma tendência de decréscimo à medida em que as concentrações aumentaram. Nas concentrações de 2,4 $g.L^{-1}$ para cobre e 0,72 $g.L^{-1}$para zinco e chumbo, foi possível observar uma redução brusca, seguido de uma estagnação no crescimento bacteriano para a maioria dos isolados, principalmente em relação ao cobre e zinco. O ponto mais baixo da curva coincidiu com as concentrações nas quais houve maior número de isolados em que apresentaram ausência de crescimento bacteriano. A alta concentração de metais pesados pode ocasionar efeitos tóxicos nas células dos microrganismos e causar danos letais (BARON, 1996). Esse fato explica o declínio e consequente ausência do crescimento bacteriano à medida que aumenta a concentração dos metais.

No chumbo não foi possível observar isolados que apresentaram ausência de crescimento, logo após o ponto mais baixo da curva (0,72 $g.L^{-1}$), pelo contrário, houve uma nova tendência de crescimento. Tal fato pode estar relacionado a precipitação do metal, tornando-o indisponível no meio. À medida que maior quantidade de sais contendo metal é adicionada, ocorre a formação de precipitados. Essa precipitação é um processo químico em que íons metálicos dissolvidos em solução reagem com outros íons ou compostos, resultando na formação de sólidos insolúveis. Assim, quanto maior for a disponibilidade de íons metálicos na solução, maior será a intensidade da reação de precipitação pois o produto da atividade iônica ultrapassa o produto da solubilidade (SHEORAN; SHEORAN, 2006).

Cerca de 60%dos isolados de *Enterobacter* provenientes da cama de aviário convencional (CAC) atingiram a CIM de cobre a 2,4 $g.L^{-1}$, enquanto em apenas 40% dos isolados não foi possível determinar a CIM (Tabela 1). Os isolados provenientes da cama de aviário orgânica (CAO) atingiram, em sua maioria (86%), a CIM de 2,4 $g.L^{-1}$de cobre. Em relação ao zinco,60%dos isolados oriundos da cama de aviário convencional, apresentaramuma CIM, sendo 20%na concentração de 0,72 $g.L^{-1}$, 20%na 1,44 $g.L^{-1}$ e 20%na 2,88 $g.L^{-1}$. Já os 40% restantes dos isolados apresentam crescimento nem até a maior concentração testada (5,76 $g.L^{-1}$). A concentração de 1,44 $g.L^{-1}$ de zinco foi a que inibiu o crescimento de uma maior quantidade de isolados da cama de aviário orgânica. No chumbo, 100% dos isolados da cama de aviário convencional e orgânica apresentaram crescimento na concentração de 2,88 $g.L^{-1}$, sendo está a maior concentração de chumbo avaliada.

Tabela 1: Percentual de bactérias do gênero Enterobacterprovenientes de camas de aviário convencional (CAC) e orgânica (CAO)com concentração inibitória mínima (CIM) de chumbo, cobre e zinco determinada. *Concentrações que não apresentaram isolados que atingiram a CIM

Sistema de produção	**Cobre ($g.L^{-1}$)**						
	0,3	0,6	1,2	2,4	4,8	9,6	>9,6
CAC (n=5)	*	*	*	60	*	*	40
CAO (n=7)	*	*	*	86	14	*	*
Sistema de produção	**Zinco($g.L^{-1}$)**						
	0,2	0,4	0,72	1,44	2,88	5,76	>5,76
CAC (n=5)	*	*	20	20	20	*	40
CAO (n=7)	*	*	14	58	14	*	14
Sistema de produção	**Chumbo($g.L^{-1}$)**						
	0,9	0,18	0,36	0,72	1,44	2,88	>2,88
CAC (n=5)	*	*	*	*	*	*	100
CAO (n=7)	*	*	*	*	*	*	100

Independente do sistema de produção,não foi possível detectar a CIM de elevada parcela dos isolados, ou seja, a maioria dos isolados apresentaram crescimentonas concentrações mais altas do metal, com destaque para ochumbo. Tal fato indica uma elevada resistência dos isolados bacterianos aos metais pesados, o que já era esperado para os isolados proveniente do sistema convencional de produção animal pelo uso frequente de metais como aditivos alimentares (ZHANG et al., 2012).

CONCLUSÕES

Os isolados de *Enterobacter* de diferentes sistemas de produção de cama de aviário apresentaram resistência aos metais pesados cobre, zinco e chumbo e,se beneficiam de baixas concentrações desses metais, indicando seu potencial como micronutrientes. Esse fenômeno é consistente, independentemente do sistema de produção. No entanto, essa resistência representa um risco para o meio ambiente e a saúde pública. Portanto, medidas de gerenciamento são necessárias para mitigar esses riscos e garantir a segurança e sustentabilidade nos sistemas de produção de cama de aviário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARON, S. **Medical microbiology** (4th edition), University of Texas Medical Branch, Galveston, 1996.

BRAVO, G. B. G. **Resistência aos metais cobre, chumbo, cromo e zinco em bactérias gram-positivas isoladas de ambiente aquático**. 2018. 46 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduaçãoem Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.Londrina, 2018.

CABRAL, A. B.**Caracterização genética de isolados clínicos de Enterobacter aerogenes e *Enterobacter cloacae*: determinantes de resistência e virulência**. 2016.168 p. Tese (Doutorado) -Programa de Pós-Graduaçãoem Medicina Tropical, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.

FERREIRA, P.F.A. et al. Effect of composting on the microbiological and parasitic load in animal production wastes in Brazil. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, v. 10, n. 3, p. 265-273, 2021.

IMRAN, M. et al. Co-selection of multi-antibiotic resistance in bacterial pathogens in metal and microplastic contaminated environments: An emerging health threat. **Chemosphere**, v. 215, p. 846–857, 2019.

OLIVEIRA, C. C. D. **Ocorrência de genes de resistênciaaantimicrobianosem solos de área agrícola e de reserva legal em Nova Friburgo, RJ**. 2019. 60 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduaçãoem Agronomia - Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2019.

SHEORAN, A.S. et al. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: a critical review. **Minerals engineering**, v. 19, n. 2, p. 105-116, 2006.

VIRTUOSO, M.C.S. et al. Reutilização da cama de frango. **RevistaEletrônicaNutritime**, v. 12, n. 2, p. 3964-3979, 2015.

YAZDANKHAH, S. et al. Antimicrobial resistance due to the content of potentially toxic metals in soil and fertilizing products. **Microbial ecology in health and disease**, v. 29, n. 1, p. 1548248, 2018.

ZHANG, F. S. et al. Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in northeast China. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 9, n. 8, p. 2658–2668, 2012.

CAPÍTULO 23

EFEITO DA FERTILIZAÇÃO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO ASSOCIADOS A INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILUM BRASILENSE* SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS DO SORGO FORRAGEIRO

Data de aceite: 01/04/2024

Glayciane Costa Gois
Professor Visitante no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Renata Sousa Costa
Mestre em Ciência Animal Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Wilami de Araújo CARVALHO Junior
Estudante de graduação em Agronomia (UFMA)

Danillo Marte Pereira
Professor Visitante no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Daniele de Jesus Ferreira
Professor no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Anderson de Moura Zanine
Professor no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

RESUMO: O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da fertilização com diferentes doses de silício associados a inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre as características de produção de grãos do sorgo forrageiro. Nesse experimento foi usado o sorgo forrageiro BRS Ponta Negra. Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 × 2, com 5 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (Si) (0, 4, 8 e 12 kg/ha) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol/L de Si na solução, em cada aplicação. O segundo fator consistiu na inoculação das sementes de sorgo com as cepas de *A. brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% cada. A área experimental era de 251 m², dividida em 40 parcelas de 6 m², com 0,6 m de espaçamento entre linhas, e 0,5 m entre as covas, mantendo um espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 1 m entre os blocos. Cada parcela foi composta por 20 plantas, totalizando assim 800 plantas. A semeadura ocorreu de forma manual, depositando 3 sementes de sorgo por cova. As doses de Silício aplicadas proporcionaram efeito isolado para o número de grãos por panícula, peso dos grãos e peso da panícula ($P < 0,05$). A aplicação de 8 kg/ha de Silício proporcionou maior número e peso dos grãos enquanto que a aplicação de 4 kg/ha de Silício proporcionou aumento no peso da panícula. Nas condições experimentais, recomenda-se a aplicação de 8 kg/ha de Silício como fertilizante do sorgo.

PALAVRAS-CHAVE: bactérias fixadoras de nitrogênio, número de grãos, peso de panícula

EVALUATION OF THE PRODUCTION CHARACTERISTICS OF FORAGE SORGHUM GRAINS WITH DIFFERENT DOSES OF SILICON WITHOUT AND WITH THE USE OF *AZOSPIRILUM BRASILENSE*

ABSTRACT: The aim was to evaluate the effect of fertilization with different doses of silicon associated with inoculation with *Azospirillum brasilense* on the grain production characteristics of forage sorghum. In this experiment, forage sorghum BRS Ponta Negra was used. A randomized block experimental design was adopted, in a 4 × 2 factorial scheme, with 5 replications, totaling 40 experimental units. The first factor consisted of silicon (Si) doses (0, 4, 8 and 12 kg/ha) corresponding to 0; 0.96; 1.90 and 2.85 mmol/L of Si in the solution, in each application. The second factor consisted of inoculating sorghum seeds with strains of *A. brasilense* (strains Ab-V5 and Ab-V6), at a rate of 50% each. The experimental area was 251 m², divided into 40 plots of 6 m², with 0.6 m spacing between rows, and 0.5 m between pits, maintaining a spacing of 0.50 m between plots and 1 m between the blocks. Each plot was composed of 20 plants, totaling 800 plants. Sowing occurred manually, depositing 3 sorghum seeds per hole. The applied doses of Silicon provided an isolated effect on the number of grains per panicle, grain weight and panicle weight ($P < 0.05$). The application of 8 kg/ha of Silicon provided a greater number and weight of grains while the application of 4 kg/ha of Silicon provided an increase in panicle weight. Under experimental conditions, it is recommended to apply 8 kg/ha of Silicon as sorghum fertilizer.
KEYWORDS: nitrogen fixing bacteria, number of grains, panicle weight

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é uma planta forrageira de fácil adaptação às condições tropicais e requer menor quantidade de água durante o ciclo, em relação as demais culturas forrageiras, comumente usadas na alimentação de ruminantes (HOSSAIN et al., 2022). No entanto, apesar do sorgo ser uma alternativa para produção em época de baixa pluviosidade, as variações climáticas contribuem para o estresse hídrico da planta, podendo resultar em perdas de biomassa e comprometer a produtividade, dependendo da intensidade (COSTA et al., 2016). Logo, uma estratégia promissora para mitigar os efeitos do estresse hídrico seria a fertilização com silício (Si) (BISHNOI et al., 2023).

A adubação adequada e a aplicação do silício podem atenuar os efeitos do estresse, uma vez que contribuem para a manutenção do potencial hídrico foliar, reduzem o estresse oxidativo ao diminuir a perda de eletrólitos e também na transpiração das plantas, ocorrendo o aumento da eficiência fotossintética, melhorando a produtividade da cultura (FAROOQ et al., 2015). No entanto, como o sorgo apresenta mecanismo fotossintético do tipo C4, apresenta elevada exigência e resposta ao nitrogênio (PAULO et al., 2016).

Devido ao aumento dos custos para aquisição de fertilizantes sintéticos nitrogenados, alternativas que aliem boa produtividade e redução de custos, tem sido testadas. Umas

destas alternativas são as bactérias promotoras de crescimento como o *Azospirillum brasilense* (LEITE et al., 2019). Estas bactérias são fixadoras de nitrogênio (N) e podem fornecer parte do N necessário para a cultura, causando impactos positivos na produtividade e reduzindo a necessidade da aplicação de grandes quantidades de fertilizantes (AGUIRRE et al., 2020).

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo avaliar o efeito da fertilização com diferentes doses de silício associados a inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre as características de produção de grãos do sorgo forrageiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão – UFMA/CCCh, Chapadinha, MA. O período experimental ocorreu entre os meses de setembro à dezembro de 2022. Nesse experimento foi usado o sorgo forrageiro BRS Ponta Negra. O experimento ocorreu em delineamento experimental em blocos casualizados, com esquema fatorial 4 × 2, com 5 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (Si) (0, 4, 8 e 12 kg/ha) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol/L de Si na solução, em cada aplicação. O segundo fator consistiu na inoculação das sementes de sorgo com as cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% de cada. Para a inoculação da semente foi realizada a pesagem de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 ml do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) - *Azospirillum brasilense* – Agrocete

A área experimental abrangeu um total de 251 m², dividida em 40 parcelas de 6 m² cada (3 × 2 m). O espaçamento entre as linhas foi de 0,6 m, e entre as covas foi de 0,5 m, mantendo um espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 1 m entre os blocos. Cada parcela foi composta por 20 plantas, totalizando assim 800 plantas em toda a área experimental e 31.873 plantas/ha. A semeadura ocorreu de forma manual, em covas com aproximadamente 3-5 cm de profundidade, depositando 3 sementes de sorgo por cova.

A aplicação do silício nas plantas foi dividida em 6 vezes, com 3 aplicações durante o período vegetativo e outras 3 no período reprodutivo. A fonte de Si utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol (Si = 115,2 g/L, Na_2O = 60,5 g/L)

A irrigação foi realizada duas vezes por dia (06h00 e 17h00), recebendo uma lâmina de água de 2,5 mm diários, totalizando 175 mm durante o período experimental. Capinas foram realizadas aos 20, 50 e 90 dias após a semeadura. O desbaste das plantas foi realizado para que existisse apenas uma planta por cova. As panículas foram cobertas com sacos de papel para evitar o ataque de pássaros aos grãos, sendo monitoradas até o dia da colheita.

Duas plantas de cada parcela (plantas essas que pertenciam as linhas centras das parcelas e de altura uniforme) foram selecionadas para a coletar de dados, totalizando 80

plantas avaliadas, nas quais foram determinadas o número de grãos por panícula (NGR), peso dos grãos (PGR) e peso da panícula (PPA).

As médias foram submetidas a análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey utilizando o software estatístico SAS (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação dos fatores *Azospirillum brasilense* e doses de Silício sobre o número de grãos por panícula, peso dos grãos e peso da panícula (P>0,05) do sorgo (Tabela 1). Também não houve efeito isolado do uso da *Azospirillum brasilense* sobre o número de grãos por panícula, peso dos grãos e peso da panícula (P>0,05) do sorgo (Tabela 1).

Efeito isolado das doses de Silício foram observados para o número de grãos por panícula (P < 0,001), peso dos grãos (P = 0,023) e peso da panícula (P < 0,001) (Tabela 1). A influência do aumento dos níveis de Si e o aumento nas variáveis pode ser explicado pois embora o Si não seja considerado um elemento essencial às plantas, estudos constatam que a aplicação de Si ao solo com o crescimento e acréscimo na produtividade das culturas, especialmente as espécies gramíneas, consideradas acumuladoras, como é o caso da cultura do sorgo (CASTRO, 2009).

Tabela 2: Características de produção de grãos do sorgo forrageiro com diferentes doses de Si, sem e com a utilização de Azospirilum brasilense.

Itens	***A. brasilense***		EPM	**Silício (kg/ha)**				EPM	**Valor - P**		
	Sem	**Com**		**0,0**	**4,0**	**8,0**	**12,0**		**Ab**	**Si**	**Ab x Si**
NGR	2405,93	2690,85	142,46	1658,00	2979,50	3086,30	2469,75	325,86	0,420	<0,001	0,305
PGR	47,77	51,85	2,04	37,25	58,15	61,04	42,79	5,79	0,540	0,023	0,735
PPA	14,14	16,29	1,07	10,30	17,24	16,95	16,37	1,65	0,076	<0,001	0,989

NGR – número de grãos (nº), PGR - peso dos grãos (g), PPA - peso da panícula (g), EPM – Erro padrão da média, Ab - *Azospirilum brasilense*, Si – Silício, Ab x Si – Efeito da interação *Azospirilum brasilense* x Silício, Valor – P – Valor de probabilidade

Significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey

CONCLUSÕES

Nas condições experimentais, recomenda-se a aplicação de 8 kg/ha de Silício como fertilizante do sorgo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo financiamento do projeto e pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, P. F. et al. Biological nitrogen fixation and urea-N recovery in “coastcross-1” pasture treated with *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 55, e01242, 2020.

BISHNOI, A. et al. Silicon supplementation as a promising approach to induce thermotolerance in plants: Current understanding and future perspectives. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, 34 – 55, 2023.

CASTRO, G. S. A. et al. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário.** 2009. 160 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Ciências Agronômicas. Botucatu, 2009.

COSTA, R. F. et al. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, p. 127–133, 2016.

FAROOQ, M. A.; DIETZ K. J. Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, e994, 2015.

HOSSAIN, S. M. et al. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, e100300, 2022.

LEITE, R. da C. et al. Mitigation of Mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) dependence on nitrogen fertilization as a function of inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 43, e0180234, 2019.

PAULO, M. et al. Importance of limestone and fertilization in traditional and alternative production of forage plants. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 10, 1 -12, 2016.

SAS, 2015. Sas/Stat University User Guide. Sas Institute Inc, Cary (NC).

CAPÍTULO 24

EFEITO DA FERTILIZAÇÃO COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO ASSOCIADOS A INOCULAÇÃO COM *AZOSPIRILUM BRASILENSE* SOBRE A SANIDADE E CARACTERÍSTICAS DOS GRÃOS DO SORGO FORRAGEIRO BRS PONTA NEGRA

Data de aceite: 01/04/2024

Renata Sousa Costa
Mestre em Ciência Animal Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Glayciane Costa Gois
Professor Visitante no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Júlia Bianca Araújo Marinho
Estudante de graduação em Zootecnia (UFMA)

Victorya Maria Ferreira Martins
Estudante de graduação em Zootecnia (UFMA)

Daniele de Jesus Ferreira
Professor no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

Anderson de Moura Zanine
Professor no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (UFMA)

RESUMO: Esse estudo teve como objetivo avaliar o efeito da fertilização com diferentes doses de silício associados a inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre a sanidade do colmo e das folhas e características dos grãos do sorgo forrageiro BRS Ponta Negra. Adotou-se o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 × 2, com 5 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (0, 4, 8 e 12 kg/ha). O segundo fator consistiu na inoculação das sementes de sorgo com as cepas de *Azospirilum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6). A área experimental (251 m²) foi dividida em 40 parcelas de 6 m², com 0,6 m entre linhas, e 0,5 m entre covas, mantendo um espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 1 m entre os blocos. Cada parcela foi composta por 20 plantas, totalizando 800 plantas. A semeadura ocorreu de forma manual, depositando 3 sementes de sorgo por cova. Todos os tratamentos apresentaram a sanidade de ataque ao colmo como excelente e sanidade de ataque as folhas como resistentes. Os tratamentos sem *Azospirilum brasilense* com diferentes doses de silício, proporcionaram grãos leitosos ou semiduros. Já com a utilização do *Azospirilum brasilense* e as doses de silício, os grãos se apresentaram duros, semiduros e leitosos. Não foram observados grãos ardidos. Todos os tratamentos apresentaram grãos de coloração marrom claro. A sanidade da planta não é afetada pelo uso da combinação doses de silício × inoculação com *Azospirilum brasilense*.

PALAVRAS-CHAVE: bactérias fixadoras de nitrogênio, cor dos grãos, dureza dos grãos

EFFECT OF FERTILIZATION WITH DIFFERENT DOSES OF SILICON ASSOCIATED WITH INOCULATION *AZOSPIRILUM BRASILENSE* ON THE HEALTH AND CHARACTERISTICS OF FORAGE SORGHUM GRAINS BRS PONTA NEGRA

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the effect of fertilization with different doses of silicon associated with inoculation with *Azospirilum brasilense* on the health of the stalk and leaves and grain characteristics of BRS Ponta Negra forage sorghum. A randomized block design was adopted, in a 4 × 2 factorial scheme, with 5 replications, totaling 40 experimental units. The first factor consisted of silicon doses (0, 4, 8 and 12 kg/ha). The second factor consisted of inoculating sorghum seeds with *Azospirilum brasilense* strains (strains Ab-V5 and Ab-V6). The experimental area (251 m²) was divided into 40 plots of 6 m², with 0.6 m between rows, and 0.5 m between pits, maintaining a spacing of 0.50 m between plots and 1 m between blocks. Each plot was composed of 20 plants, totaling 800 plants. Sowing occurred manually, depositing 3 sorghum seeds per hole. All treatments presented stem attack health as excellent and leaf attack health as resistant. Treatments without *Azospirilum brasilense* with different doses of silicon provided milky or semi-hard grains. With the use of *Azospirilum brasilense* and doses of silicon, the grains were hard, semi-hard and milky. No burned grains were observed. All treatments presented light brown grains. Plant health is not affected by the use of the combination of silicon doses × inoculation with *Azospirilum brasilense*.
KEYWORDS: grain color, grain hardness, nitrogen fixing bacteria

INTRODUÇÃO

O sorgo é uma planta forrageira da família Poaceae altamente tolerante à seca e, por isso, é cultivado principalmente em regiões tropicais semiáridas. No entanto, a cultura do sorgo é, muitas vezes, submetida ao estresse por escassez hídrica (LIMA et al., 2019). A adubação adequada e a aplicação do silício podem atenuar os efeitos do estresse hídrico no sorgo forrageiro em regiões tropicais (FAROOQ et al., 2015). Porém, devido ao sorgo utilizar a fotossíntese C4 como um mecanismo concentrador de carbono, diminuindo a fotorrespiração, apresenta elevada exigência e resposta ao nitrogênio (PAULO et al., 2016).

Desta forma, o uso do *Azospirillum brasilense* pode favorecer o desempenho agronômico do sorgo em condições adversas, que já dispõe de características interessantes para manter a produção. Além disso, por se tratar de uma bactéria fixadora de N_2, pode-se reduzir de maneira significativa a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos (MORTATE et al., 2020). Entretanto, não se sabe ao certo se a inoculação com esta bactéria pode atender plenamente a alta demanda de nitrogênio do sorgo e beneficiar a sanidade da planta, além das características inerentes ao grão, visto que o sorgo responde bem às bactérias fixadoras de nitrogênio, o que exige avaliações a nível de campo para identificar todos os efeitos inerentes à inoculação ou a combinação deste com o silício.

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo avaliar o efeito da fertilização com diferentes doses de silício associados a inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre a sanidade do colmo e das folhas e características dos grãos do sorgo forrageiro BRS Ponta Negra.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão – UFMA/CCCh, Chapadinha, MA. O período experimental ocorreu entre os meses de setembro à dezembro de 2022. Nesse experimento foi usado o sorgo forrageiro BRS Ponta Negra. O experimento ocorreu em delineamento experimental em blocos casualizados, com esquema fatorial 4 × 2, com 5 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu nas doses de silício (Si) (0, 4, 8 e 12 kg/ha) correspondente a 0; 0,96; 1,90 e 2,85 mmol/L de Si na solução, em cada aplicação. O segundo fator consistiu na inoculação das sementes de sorgo com as cepas de *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-V5 e Ab-V6), na proporção de 50% de cada. Para a inoculação da semente foi realizada a pesagem de 0,5 kg de semente e inoculada com 2 mL do Inoculante GRAP NOD A L (1,5LT = 15 doses) - *Azospirillum brasilense* – Agrocete

A área experimental abrangeu um total de 251 m², dividida em 40 parcelas de 6 m² cada (3 × 2 m). O espaçamento entre as linhas foi de 0,6 m, e entre as covas foi de 0,5 m, mantendo um espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 1 m entre os blocos. Cada parcela foi composta por 20 plantas, totalizando assim 800 plantas em toda a área experimental e 31.873 plantas/ha. A semeadura ocorreu de forma manual, em covas com aproximadamente 3-5 cm de profundidade, depositando 3 sementes de sorgo por cova.

A aplicação do silício nas plantas foi dividida em 6 vezes, com 3 aplicações durante o período vegetativo e outras 3 no período reprodutivo. A fonte de Si utilizada foi o silicato de sódio estabilizado com sorbitol (Si = 115,2 g/L, Na_2O = 60,5 g/L)

A irrigação foi realizada duas vezes por dia (06h00 e 17h00), recebendo uma lâmina de água de 2,5 mm diários, totalizando 175 mm durante o período experimental. Capinas foram realizadas aos 20, 50 e 90 dias após a semeadura. O desbaste das plantas foi realizado para que existisse apenas uma planta por cova. As panículas foram cobertas com sacos de papel para evitar o ataque de pássaros aos grãos, sendo monitoradas até o dia da colheita.

Duas plantas de cada parcela (plantas essas que pertenciam as linhas centras das parcelas e de altura uniforme) foram selecionadas para a coletar de dados, totalizando 80 plantas avaliadas, nas quais foram determinadas:

> **Avaliação da sanidade de ataque da planta:** Realizada visualmente na fase de maturação fisiológica do grão. Adotando-se as seguintes notas, de acordo com o aspecto das folhas: 1: altamente resistente (0%); 2: resistente (1%); 3: resistente (10%); 4: medianamente (20%); 5: medianamente susceptível (30%); 6: medianamente susceptível (40%); 7: susceptível (60%); 8: susceptível (80%); 9: altamente susceptível (>80%);

Avaliação do número de grãos ardidos: Realizada visualmente feita por meio de uma escala de notas de 1 a 5, indicando a porcentagem de grãos ardidos na fase de maturação fisiológica do grão. Adotando-se as seguintes notas: 1: excelente; 2: bom; 3: médio; 4: pobre, e 5: ruim;

Avaliação da cor do grão na colheita: Realizada visualmente foram atribuídas quatro cores aos grãos: marrom, marrom claro, amarelo e verde;

Avaliação da dureza do grão: Foram atribuídos três níveis de dureza aos grãos: duro, semiduro e leitoso.

Os valores médios foram determinados através de análise descritiva atribuindo notas conforme as observações das variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os valores obtidos, é possível observar na Tabela 1 que todos os tratamentos apresentaram a sanidade de ataque ao colmo como excelente (1) e sanidade de ataque as folhas como resistentes (2), e com isso uma maior qualidade da planta.

Tabela 1: Sanidade do colmo e das folhas e características dos grãos de sorgo forrageiro com diferentes doses de silício, sem e com a utilização de *Azospirilum brasilense*.

Tratamentos	**Sanidade de ataque**		**Grãos**		
	Colmo	**Folhas**	**Dureza**	**Ardidos**	**Cor**
Si0	1	2	Leitoso	1	Marrom Claro
Si0Ab	1	2	Duro	1	Marrom Claro
Si4	1	2	Semiduro	1	Marrom Claro
Si4Ab	1	2	Semiduro	1	Marrom Claro
Si8	1	2	Leitoso	1	Marrom Claro
Si8Ab	1	2	Semiduro	1	Marrom Claro
Si12	1	2	Leitoso	1	Marrom Claro
Si12Ab	1	2	Leitoso	1	Marrom Claro

Si0 - dose 0 de silício sem *Azospirilum brasilense*, Si0Ab - dose 0 de silício com *Azospirilum brasilense*, Si4 - dose 4 de silício sem *Azospirilum brasilense*, Si4Ab - dose 4 de silício com *Azospirilum brasilense*, Si8 - dose 8 de silício sem *Azospirilum brasilense*, Si8Ab - dose 8 de silício com *Azospirilum brasilense*, Si12 - dose 12 de silício sem *Azospirilum brasilense*, Si12Ab - dose 12 de silício com *Azospirilum brasilense*.

Para as características quanto ao grau de maturidade dos grãos observou-se que para os tratamentos sem *Azospirilum brasilense* com diferentes doses de silício, os grãos se apresentaram leitoso ou semiduro. Já para a utilização do *Azospirilum brasilense* e as doses de silício, os grãos se apresentaram duros, semiduros e leitosos, de acordo com a análise visual (Tabela 1). A dureza dos grãos pode determinar altos teores de matéria seca para ensilagem, com relação ao presente estudo os grãos de apresentaram com características

favoráveis quanto a dureza, pois o sorgo forrageiro é considerado precoce e a maioria dos híbridos apresentam ponto de ensilagem de farináceo a duro e os constituintes da planta podem variar em detrimento da colheita com influência no estádio de desenvolvimento (SANTOS et al., 2021).

Em relação a grãos ardidos não houve diferença entre os tratamentos, onde se observou, segundo a análise visual, que não ocorreu a presença de grãos ardidos (nota 1 excelente) (Tabela 1). A ausência de grãos ardidos vem favorecer a qualidade e desenvolvimento dos mesmos, aumentando assim a produção e qualidade e sua finalidade tanto para a produção de grãos como produção de silagem. Para o atributo cor, todos os tratamentos apresentaram grãos de coloração marrom claro (Tabela 1). De acordo com Santos et al. (2007) o sorgo cultivar BRS Ponta Negra apresenta médio porte, cor do grão marrom claro, características pertinentes à produção de forragem.

CONCLUSÕES

Nas condições experimentais, o uso da fertilização com diferentes doses de silício associados a inoculação com *Azospirilum brasilense* não afeta a sanidade da planta e proporciona grãos de sorgo duros, semiduros e leitosos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo financiamento do projeto e pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAROOQ, M.A.; DIETZ K.J. Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, e994, 2015.

LIMA, D.T. Silicon accumulation and its effect on agricultural traits and anthracnose incidence in lignocellulosic sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e54201, 2019

MORTATE, R.K. et al. Resposta de sorgo inoculado com *Azospirillum brasilense* a doses de nitrogênio em cobertura. **Ciência Agrícola**, v. 18, 65-72, 2020

PAULO, M. et al. Importance of limestone and fertilization in traditional and alternative production of forage plants. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 10, 1 -12, 2016.

SANTOS, M.S. et al. Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains ab-v5 and ab-v6 on the brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 45, e0200128, 2021.

SANTOS, F.F. dos. et al. BRS Ponta Negra variedade de sorgo forrageiro. Comunicado Técnico. 145. 1st edição. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Milho e Sorgo), 6 p, 2007.

CAPÍTULO 25

PERFIL DE RESISTÊNCIA A METAIS PESADOS DE *ESCHERICHIA COLI* ISOLADAS DE CAMA DE AVIARIO PROVENIENTE DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Data de aceite: 01/04/2024

Gustavo Rodrigues Saldanha
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

Paula Fernanda Alves Ferreira
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

Cyndi dos Santos Ferreira
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

Giselle Pereira de Azevedo
Estudante de graduação em Farmácia (UFRRJ)

Pablo Henrique Narciso Marques
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Irene da Silva Coelho
Professora do Departamento de Microbiologia e Imunologia Veterinária (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil de resistência a metais pesados em *Escherichia coli* isoladas de cama de aviário de sistema convencional e orgânico de produção. Os isolados foram avaliados quanto à sensibilidade a cobre, zinco e chumbo utilizando a técnica de microdiluição em caldo com seis concentrações de cada metal e três repetições. A concentração inibitória mínima (MIC) foi determinada como a concentração na qual houve uma redução de pelo menos 95% na taxa de crescimento bacteriano. A maioria das cepas apresentaram elevado crescimento em concentrações baixas dos metais, principalmente em cobre e zinco por serem utilizados como micronutrientes no desenvolvimento dos microrganismos. O chumbo, por sua vez, embora tipicamente tóxico, não afetou o crescimento bacteriano nas concentrações mais baixas devido à presença de nitrogênio na composição da fonte de chumbo utilizada, que é um nutriente essencial para os microrganismos. A resistência às concentrações mais altas dos metais foi observada para a maioria dos isolados. Não houve diferença no perfil de resistência a metais das bactérias provenientes de sistema convencional e orgânico. Dessa forma, resíduos animais como a cama de aviário abrigam bactérias resistentes a metais pesados, representando um risco potencial para o ambiente e saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: chumbo, cobre, resíduos animais, saúde pública, zinco.

HEAVY METAL RESISTANCE PROFILE OF *ESCHERICHIA COLI* ISOLATED FROM POULTRY LITTLER OF DIFFERENT PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT: The objective of this study was to assess the profile of heavy metal resistance in *Escherichia coli* isolated from conventional and organic poultry litter systems. The isolates were evaluated for sensitivity to copper, zinc, and lead using the broth microdilution technique with six concentrations of each metal and three replicates. The minimum inhibitory concentration (MIC) was determined as the concentration at which there was at least a 95%reduction in the bacterial growth rate. Most strains exhibited high growth at low concentrations of metals, particularly copper and zinc, as they are used as micronutrients in the development of microbial. Lead, although typically toxic, did not affect bacterial growth at lower concentrations due to the presence of nitrogen in the composition of the lead source used, which is an essential nutrient for microorganisms. Resistance to higher concentrations of metal was observed for the majority of isolates. There was no difference in the metal resistance profile between bacteria from conventional and organic systems. Thus, animal residues such as poultry litter harbor bacteria resistant to heavy metals, representing a potential risk to the environment and public health.
KEYWORDS: animal waste, lead, copper, public health, zinc.

INTRODUÇÃO

Há uma crescente expansão do setor avícola no Brasil e isso está diretamente relacionado a alta demanda populacional (AGROCERES, 2022). No entanto, à medida que a avicultura se expande, novos desafios surgem e é essencial enfrentá-los para garantir a sustentabilidade do meio ambiente e a segurança dos produtos. Um desses desafios é o gerenciamento dos resíduos gerados na produção avícola como a cama de aviário.

A cama de aviário é um material utilizado na forração das instalações onde os animais permanecem para evitar o contato direto do animal com o piso, servir de substrato para a absorção da água, incorporação de fezes, urina e restos de alimentos não aproveitados ou deteriorados (VIRTUOSO et al., 2015).Devido seu alto valor nutricional, esse resíduo pode ser aproveitamento na agricultura como fertilizante orgânico e/ou condicionador de solo, sendo assim, uma alternativa sustentável para a disposição desses resíduos no ambiente (THYAGARAJAN et al., 2013).Apesar de tais benefícios, esse resíduo pode conter microrganismos patogênicos, como bactérias da espécie *Escherichia coli* e, excesso de nutrientes e substâncias químicas, como metais pesados, que podem causar contaminação da água e do solo e problemas de saúde pública (PARVAGE et al., 2015).

Metais pesados como cobre (Cu) e zinco (Zn) são amplamente adicionados à ração animal para diversos fins (OLIVEIRA, 2019). Porém, como são pouco absorvidos pelo organismo animal, são facilmente expelidos, podendo contaminar o solo e a água por meio da eliminação direta das excretas do animal ou por meio da utilização do esterco

animal como fertilizante (YAZDANKHAH et al., 2018). Vale ressaltar ainda que a exposição contínua a metais pesados no ambiente pode ocasionar mecanismos de resistência na comunidade microbiana natural (SILVA, 2011).

As bactérias da espécie *Escherichia coli* habitam comensalmente o trato gastrointestinal de animais. No entanto, algumas cepas dessa espécie são capazes de causar infecções sendo frequentemente relatadas em casos de infecções intestinais e urinárias (LEMOS, 2023). Microrganismos que são expostos a contaminação ambiental por metais pesados estão sujeitos a co-seleção da resistência a antimicrobianos e metais pesados. Tal fato constitui um grave potencial de ameaça saúde pública, uma vez que bactérias resistentes a antimicrobianos limitam a eficiência destes, dificultando o tratamento de infeções (IMRAM et al., 2019). Assim, o uso de metais pesados na alimentação dos animais pode induzir uma pressão seletiva sobre as bactérias da espécie *Escherichia coli*, aumentando o risco de desenvolver resistência a metais pesados e, consequentemente a antimicrobianos, dificultando o tratamento de infecções causadas por esse microrganismo.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil de resistência a metais pesados em *Escherichia coli* isoladas de cama de aviário do sistema convencional e orgânico de produção durante o processo de compostagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O crescimento de 25 cepas bacterianas da espécie *Escherichia coli* previamente isoladas e identificadas por Ferreira et al. (2021), provenientes da compostagem de cama de aviário do sistema convencional (CAC) e orgânico (CAO) de produção, foi avaliado em meio contendo cobre, zinco e chumbo por meio da técnica de microdiluição em caldo. Inicialmente, as cepas foram cultivadas em caldo Mueller Hinton a 37°C por 24 horas e a concentração celular foi ajustada. Os ensaios foram realizados em microplacas de poliestireno de 96 poços com um volume total de 100 μL por poço, composto por 97,5% de caldo TSB e 2,5% de inóculo. Seis concentrações de soluções de sulfato de cobre pentahidratado (0,3; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8 e 9,6 $g.L^{-1}$), sulfato de zinco heptahidratado (0,18; 0,36; 0,72; 1,44; 2,88 e 5,76 $g.L^{-1}$) e nitrato de chumbo (0,09; 0,18; 0,36; 0,72; 1,44 e 2,88 $g.L^{-1}$) foram utilizadas. Foram incluídos controles positivos (TSB sem metal + bactéria) e brancos (sem inóculo) para cada concentração dos metais. As microplacas foram incubadas a 35°C por 24 horas. O cálculo foi realizado com base nas leituras espectrofotométricas antes e após a incubação, com o objetivo de determinar o crescimento bacteriano. A concentração inibitória mínima (CIM) foi determinada como a concentração de metal capaz de inibir 95% do crescimento bacteriano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independente do sistema de produção, os isolados de *Escherichia coli* apresentaram curva de crescimento semelhante nas diferentes concentrações de metais pesados avaliados (Figura 1). Como esperado, nas concentrações mais baixas (0,6 $g.L^{-1}$de cobre e 0,36 $g.L^{-1}$de zinco e chumbo) houve elevado crescimento bacteriano. O cobre e o zinco são micronutrientes essenciais para a saúde de todos os organismos vivos, mesmo em baixas concentrações (AUGUSTO, 2022). Dessa forma, estes metais atuaram como aditivo/ nutriente para o desenvolvimento das bactérias. Já o chumbo, é considerado um metal não essencial pois não possui uma função biológica estabelecida, sendo sua acumulação prejudicial. No presente estudo, a fonte de chumbo utilizada foi o nitrato, um sal que se dissocia em meio aquoso e, durante essa dissociação, um dos íons liberados é o nitrato, uma das principais formas de nitrogênio inorgânico disponíveis. Esse nitrogênio, por sua vez, é um macronutriente crucial para todos os organismos pois desempenha um papel fundamental na síntese de proteínas, enzimas e ácidos nucléicos. Portanto, esse aporte adicional de nitrogênio no meio favoreceu o crescimento bacteriano nas concentrações mais baixas de chumbo, mascarando assim os efeitos tóxicos desse metal (EDISCIPLINAS, 2023).

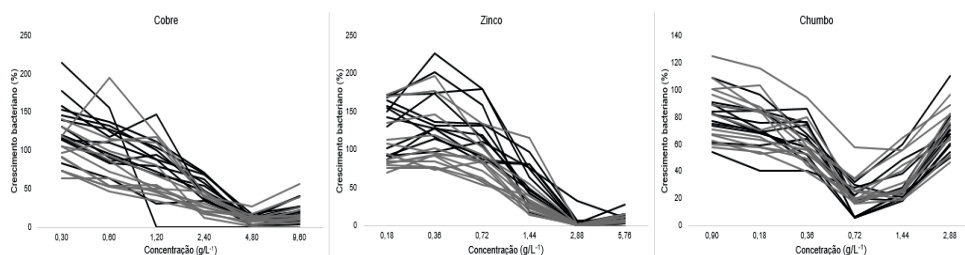



Figura 1: Curva de crescimento de isolados de Escherichia coli provenientes de camas de aviário convencional (cinza) e orgânica (preto) em diferentes concentrações de cobre, zinco e chumbo.

A curva de crescimento apresentou uma tendencia de decréscimo à medida que as concentrações aumentaram até atingir um ponto mínimo na curva (Figura 1). O ponto mais baixo na curva coincidiu com as concentrações nas quais houve maior número de isolados em que atingiram a CIM, ou seja, em 4,8 $g.L^{-1}$ para o cobre, 2,88 $g.L^{-1}$ para o zinco e 0,72 $g.L^{-1}$ para o chumbo (Figura 1 e Tabela 1). A alta concentração de metais pesados pode ocasionar efeitos tóxicos nas células dos microrganismos e causar danos letais (BARON, 1996). Esse fato explica o declínio e consequente ausência do crescimento bacteriano à medida que aumenta a concentração dos metais.

Vale ressaltar ainda que independente do metal testado foi possível observar um aumento no crescimento bacteriano dos isolados avaliados nas concentrações posteriores a de menor crescimento (9,6 $g.L^{-1}$ de cobre, 5,76 $g.L^{-1}$ de zinco e 2,88 $g.L^{-1}$ de chumbo).

Tal fato pode estar relacionado a precipitação do metal, tornando-o indisponível no meio. À medida que maiores quantidades de sais contendo metal são adicionadas, ocorre um aumento na formação de precipitados. Essa precipitação é um processo químico em que íons metálicos dissolvidos em solução reagem com outros íons ou compostos, resultando na formação de sólidos insolúveis. Assim, quanto maior for a disponibilidade de íons metálicos na solução, maior será a intensidade da reação de precipitação pois o produto da atividade iônica ultrapassa o produto da solubilidade (SHEORAN; SHEORAN, 2006).

Para o metal cobre, apenas 25% dos isolados provenientes de CAO alcançaram a CIM, sendo 8% na concentração de 1,2 g/L e 17% na concentração de 4,8 g/L. Dentre os isolados de CAC apenas 23% alcançaram a CIM. Já para o metal zinco, 83% dos isolados de CAO e100% dos isolados de CAC atingiram a CIM. Para o chumbo apenas 25% dos isolados provenientes de CAO atingiu a CIM, enquanto nenhum isolado do sistema CAC chegou a CIM (Tabela 1). Independente do sistema de produção, a maioria dos isolados não atingiram a CIM nos metais cobre e chumbo (Tabela 1). Ou seja, apresentaram crescimento até na concentração mais alta testada, não sendo possível determinar a CIM. Tal fato indica uma elevada resistência dos isolados bacterianos aos metais pesados, o que já era esperado para os isolados provenientes do sistema de produção animal convencional pelo uso frequente de metais pesados como aditivos alimentares (ZHANG et al., 2012).

Tabela 1: Percentual de isolados de *Escherichia coli* provenientes de camas de aviário convencional (CAC) e orgânica (CAO) com concentração inibitória mínima (CIM) chumbo, cobre e zinco determinada

Sistema de produção	N°	**Cobre ($g.L^{-1}$)**					
		0,3	0,6	1,2	2,4	4,8	≥9,6
CAC	13	*	*	*	*	23	77
CAO	12	*	*	8	*	17	75
Sistema de produção	N°	**Zinco ($g.L^{-1}$)**					
		0,2	0,4	0,72	1,44	2,88	≥5,76
CAC	13	*	*	*	*	100	*
CAO	12	*	*	*	*	83	17
Sistema de produção	N°	**Chumbo ($g.L^{-1}$)**					
		0,9	0,18	0,36	0,72	1,44	≥2,88
CAC	13	*	*	*	*	*	100
CAO	12	*	*	*	25	*	75

*Concentrações que não apresentaram isolados que atingiram a CIM. Nº = Quantidade de isolados

CONCLUSÕES

Bactérias isoladas de camas de aviário de diferentes sistemas de produção apresentaram um padrão de crescimento semelhante em relação ao cobre, zinco e chumbo. Baixas concentrações desses metais pesados favoreceram o crescimento bacteriano, indicando seu potencial como micronutrientes. A maioria das bactérias mostrou alta resistência aos metais pesados. Portanto, independente do sistema de produção, resíduos animais como a cama de aviário abrigam bactérias da espécie Escherichia coli resistentes a metais pesados, o que representa um risco para o meio ambiente e a saúde pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROCERES. **Avicultura brasileira, passado, presente e futuro** (2022). Disponível em: https://agroceresmultimix.com.br/blog/avicultura-brasileira-passado-presente-e-futro/. Acesso em: 1 jul. 2022.

AUGUSTO, B. M. G. **Metais de Transição e o Sistema Nervoso Central:** Toxicidade, Uso em Diagnóstico e Opções Terapêuticas. 2022. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêutica) – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 2022.

BARON, S. **Medical microbiology** (4th edition), University of Texas Medical Branch, Galveston, 1996.

EDISCIPLINAS. **Metabolismo e fatores que interferem no crescimento microbiano** (2023). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5328292/mod_resource/cont ent/1/Metabolismo%20Microbiano.pdf. Acesso em: 2 jul. 2023.

FERREIRA, P. F. A. et al. Bacteria and antimicrobial resistance profile during the composting process of wastes from animal production. **Brazilian Journal of Microbiology**, p. 1-11, 2023.

IMRAN, M.; DAS, K. R.; NAIK, M. M. Co-selection of multi-antibiotic resistance in bacterial pathogens in metal and microplastic contaminated environments: An emerging health threat. **Chemosphere**, v. 215, p. 846–857, 2019.

LEMOS, M. ***Escherichia coli* (E. coli): o que é, sintomas, transmissão e tratamento.** Tuasaude, 2023.Disponível em: https://www.tuasaude.com/escherichia-coli/. Acesso em 05 de novembro de 2023.

OLIVEIRA, C. C. D. **Ocorrência de genes de resistência a antimicrobianos em solos de área agrícola e de reserva legal em Nova Friburgo, RJ**. 2019. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2019

PARVAGE, M. M.; ULÉN, B.; KIRCHMANN, H. Are horse paddocks threatening water quality through excess loading of nutrients. **Journal of Environmental Management**, v. 147, p. 306-313, 2015.

SHEORAN, A. S.; SHEORAN, V. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: a critical review. **Minerals engineering**, v. 19, n. 2, p. 105-116, 2006.

SILVA, V. S. Métodos e segurança sanitária na reutilização de cama de aviários. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. **Manejo ambiental na avicultura**. Embrapa Suínos e Aves: ALICE, 2011.

THYAGARAJAN, D.; BARATHI, M.; SAKTHIVADIVU, R. Scope of poultry waste utilization. **IOSR J Agric Vet Sci**, v. 6, n. 5, p. 29-35, 2013.

VIRTUOSO, M. C. S. et al. Reutilização da cama de frango. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 12, n. 2, p. 3964-3979, 2015.

YAZDANKHAH, S.; SKJERVE, E.; WASTESON, Y. Antimicrobial resistance due to the content of potentially toxic metals in soil and fertilizing products. **Microbial ecology in health and disease**, v. 29, n. 1, p. 1548248, 2018.

ZHANG, F. S. et al. Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in northeast China. **Int. J.Environ. Res. Public Health**, v. 9, n. 8, p. 2658–2668, 2012.

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NO JARDIM BOTÂNICO DA UFRRJ

Data de aceite: 01/04/2024

Ingryd Cardoso Estaky Cabral
Estudante de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (IT/UFRRJ)

Ana Beatriz Gonçalves Vasques da Silva
Estudante de graduação em Agronomia (IA/UFRRJ)

Gabriel Coutinho Oliveira de Lemos
Estudante de graduação em Agronomia (IA/UFRRJ)

Eliane Maria Ribeiro da Silva
Pesquisadora (Embrapa Agrobiologia)

Cristiane Figueira da Silva
Pós-Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de espécies vegetais na riqueza (RE) e composição da comunidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), bem como a relação destes atributos microbiológicos com os químicos do solo, em áreas sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Foram coletadas amostras de terra ao final do período chuvoso, na profundidade de 0-10 cm, em uma topossequência (terços superior, médio e inferior) com pequena variação na declividade, porém com coberturas vegetais distintas. O terço superior e inferior é coberto por espécies arbóreas de diferentes famílias botânicas; e o terço médio por gramíneas.Foi realizada a extração de esporos de FMA por meio das técnicas de decantação e peneiramento úmido, e centrifugação em água e sacarose. Para identificação, os esporos foram preparados em lâminas e identificados de acordo com as características morfológicas. Foram analisados ainda, os atributos químicos do solo. Verificou-se maior RE (média e total) dos FMA nas áreas com as espécies arbóreas e as gramíneas, nos terços superior e médio, respectivamente, onde se observou maior similaridade em relação **à** composição da comunidade de espécies.Verificou-se correlação negativa entre a riqueza de espécies e os teores de P no solo, o que sugere a influência negativa dos maiores teores de P na comunidade de espécies de FMA.

PALAVRAS-CHAVE: espécies arbóreas, esporos, gramíneas, riqueza de espécies.

ARBUSCULAR MYCHORRIZAL FUNGI AND SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN THE UFRRJ BOTANICAL GARDEN

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the possible influences of plant species on the richness (RE) and composition of the community of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species, as well as the relationship between these microbiological attributes and soil chemistry, in areas under different vegetation covers, in the Botanical Garden of the Federal Rural University of Rio de Janeiro. Soil samples were collected at the end of the rainy season, at a depth of 0-10 cm, in a toposequence (upper, middle and lower thirds) with little variation in slope, but with different vegetation cover. The upper and lower thirds are covered by tree species from different botanical families, and the middle third by grasses. AMF spores were extracted using decantation and wet sieving techniques, and centrifugation in water and sucrose. For identification, the spores were prepared on slides and identified according to their morphological characteristics. The soil's chemical attributes were also analyzed. There was a higher species richness (average and total) of AMF in the areas with tree species and grasses, in the upper and middle thirds, respectively, where greater similarity was observed in relation to the composition of the species community. There was a negative correlation between species richness and soil P content, which suggests the negative influence of higher P content on the community of AMF species.
KEYWORDS: grasses, species richness, spores,tree species.

INTRODUÇÃO

Microrganismos como os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) possuem um papel fundamental na sobrevivência, crescimento e desenvolvimento das plantas (WATTENBURGER et al., 2020), além de atuarem em diversos processos do solo como na formação de agregados; e na ciclagem de nutrientes e carbono (KIM et al., 2022; LIU et al., 2022). Tais funções ecológicas dos FMAs se devem, em parte, a produção de glomalina, que trata-se de uma glicoproteína recalcitrante, insolúvel e resistente ao calor, ligada à parede das hifas dos FMAs, que é secretada no solo ou liberada após a decomposição de hifas e esporos (DRIVER et al., 2005).

Os FMAs vêm sendo utilizados como indicadores de qualidade do solo devido a sua relevância na dinâmica da matéria orgânica e em outros processos importantes no solo, bem como ao fato de a maioria dos estudos evidenciarem a responsividade das comunidades fúngicas e da glomalina às modificações impostas ao solo (GUPTA, 2020; MATOS et al., 2022).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi caracterizar a abundância e composição de espécies de fungos micorrízicos arbusculares e a relação destes atributos microbiológicos com os atributos químicos do solo, em uma topossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Jardim Botânico do campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizado em Seropédica, RJ. O município está situado nas coordenadas geográficas de latitude sul 22°45'32.3" e longitude oeste 43°41'32.3", sob o domínio do bioma Mata Atlântica, com clima tropical sub úmido classificado por Aw segundo Koppen. Os pontos de amostragem foram distribuídos em três áreas, localizadas em uma topossequência (terços superior, médio e inferior) com pequena variação na declividade, porém com coberturas vegetais distintas. O terço superior é dominado por espécies arbóreas das famílias botânicas Rubiaceae, Lecythidaceae, Sapindaceae, Chrysobalanaceae e Fabaceae; o terço médio é caracterizado por vegetação rasteira da família Poaceae e ausência de espécies arbóreas; e o terço inferior é composto por árvores das famílias Euphorbiaceae, Fabaceae, Meliaceae, Myrtaceae e Sapotaceae. Os terços superior e médio apresentam textura argilosa na camada superficial, e o do terço inferior textura arenosa (LIMA et al., 2019).

Em cada uma das áreas, com o auxílio de um enxadão, foram coletadas, na profundidade de 0-10 cm, no final do período chuvoso, quatro amostras simples de terra para perfazer uma amostra composta, em um total de seis amostras compostas por área. Nos terços com a presença de espécies arbóreas, as coletas foram realizadas sob a copa das árvores. Após a coleta, para avaliação dos atributos químicos, as amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm. Para a análise dos fungos micorrízicos arbusculares, as amostras foram apenas secas e destorroadas. As amostras utilizadas para as análises microbiológicas foram armazenadas a 4^{o}C até o seu processamento.

Foram realizadas as seguintes análises químicas: a) pH em água na relação 1:2,5 (solo:água); b) Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1}, analisados por titulometria: c) P, K^{+} e Na^{+}extraídos com Mehlich^{-1}, d) H+Al avaliados através de solução de acetato de cálcio 0,025 mol L^{-1}, e carbono orgânico total (g kg^{-1}) pela oxidação via úmida, com dicromato de potássio. O carbono orgânico total do solo foi realizado segundo Teixeira et al. (2017). A partir dos dados obtidos foram calculados o Valor S (soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio) e os Valores T e V%.

Para extração dos glomerosporos de FMAs foram utilizados 50 g do solo de cada amostra composta empregando-se as técnicas de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), seguidas por centrifugação em água e sacarose (45%) (JENKINS, 1964). Para identificação, os esporos foram preparados em lâminas com as soluções fixadoras Melzer e álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG) e identificados conforme a descrição morfológica disponível na internet nas páginas da International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi - INVAM e da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota – CICG.Foi quantificada a riqueza média (RME) e a riqueza

total (RTE) de espécies. A frequência de ocorrência de cada espécie (FRO) foi calculada pela equação $Fi = Ji/K \times 100$, onde Ji é o número de amostras em que a espécie i ocorre e K é o número total de amostras.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de normalidade da distribuição dos erros (teste de Lillifors / SAEG 5.0) e homogeneidade das variâncias (testes de Cochran e Bartlett / SAEG 5.0). Quando os dados não apresentaram distribuição normal, foi realizada a sua transformação logarítmica para posterior comparação dos valores médios por meio do teste T de Bonferroni, com a utilização do programa estatístico Sisvar 4.6. Também foi realizada a análise de agrupamento por meio do programa Past.exe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos químicos variaram entre os diferentes terços, verificando-se maiores valores de pH no terço médio, sob a influência de gramíneas, os quais diferiram dos valores observados no terço inferior, sob espécies arbóreas (Tabela 1).

Os teores de Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+} diferiram entre os terços, sendo os maiores valores observados sob as gramíneas, no terço médio, quando comparados aos terços superior e inferior, sob as espécies arbóreas (Tabela 1). Já os teores de H+Al e Na^{+} não variaram entre os terços, enquanto para os teores de P, foram observados maiores valores no terço inferior (presença de espécies arbóreas) da paisagem (Tabela 1).

O valor T foi mais baixo no terço inferior (espécies arbóreas) quando comparado ao terço médio (gramíneas), não diferindo do terço superior, enquanto para o valor V foi observado maior porcentagem no terço inferior quando comparado ao superior, não diferindo do terço médio (Tabela 1). Para a soma de bases (S) os maiores teores foram observados no terço médio, com cobertura de gramíneas (Tabela 1). Os teores de carbono orgânico total (COT) foram mais elevados nos terços superior e médio da paisagem, sob espécies arbóreas e gramíneas, respectivamente (Tabela 1).

Em relação aos FMA, as riquezas média e total foram mais elevadas no terço superior, sob espécies arbóreas, seguido de valores intermediários no terço médio, com a presença de gramíneas, sendo os menores valores verificados no terço inferior, com espécies arbóreas (Tabela 1). Verificaram-se correlações negativa e significativa entre o número de espécies de FMA e os teores de P ($r = -0,67$; $p=0,002$). Assim, verifica-se que teores de P mais elevados na parte mais baixa da paisagem pode ter sido um dos fatores que contribuíram para a menor riqueza das espécies de FMA.

Foi observado um total de 14 morfoespécies de FMA (10 em nível de espécie e 3 em nível de gênero) distribuídas em seis gêneros e cinco famílias (Tabela 2).

Tabela 1: Atributos químicos do solo e riqueza média (RME) e total (RTE) de espécies de fungos micorrízicos arbusculares na profundidade de 0-10 cm, em uma topossequência com diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da UFRRJ

Terços	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	K^{+}	Na^{+}	S
		-----------------------------cmolcdm^{-3}-------------------------------					cmolc dm^{-3}
Superior	5,63ab	1,37 b	1,22 b	4,48 a	0,13 b	0,03 a	2,75 b
Médio	5,84 a	2,12 a	2,38 a	2,97 a	0,22 a	0,04 a	4,76 a
Inferior	5,48 b	0,87 c	1,30 b	2,36 a	0,07 c	0,03 a	2,26 b
Terços	**Valor T**	**Valor V**	**P**	**COT**	**RME**	**RTE**	
	cmolc dm^{-3}	%	mg kg^{-1}	g kg^{-1}			
Superior	7,23 ab	39,10 b	3,66 b	29,74 a	7,50a	14	
Médio	7,73 a	52,72 ab	4,69 b	27,40 a	5,50ab	8	
Inferior	4,63 b	62,37 a	7,87 a	18,76 b	3,33b	5	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Test T de Bonferroni a 5%.S: Soma de bases; COT: Carbono orgânico total; T: Capacidade de troca catiônica; Valor V: Saturação por bases
Terço Superior: Presença de cobertura florestal com predominância de espécies das famílias Rubiaceae, Lecythidaceae, Sapindaceae, Chrysobalanaceae e Fabaceae; Terço Médio: Predominância de Poaceae (gramíneas) rasteira e ausência de árvores;Terço Inferior: Presença de espécies arbóreas com predominância das famílias Euphorbiaceae, Fabaceae, Meliaceae, Myrtaceae e Sapotaceae.

Tabela 2: Frequência relativa de ocorrência (%) de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em uma topossequência com diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Famílias/Espécies	Superior	Médio	Inferior
Acaulosporaceae			
Acaulosporafoveata	16,67	-	-
Acaulosporascrobiculata	16,67	33,33	-
*Acaulospora*sp	16,67	-	-
Acaulosporaspinosa	-	16,67	-
Ambisporaceae			
Ambisporaleptoticha	100	100	100
Claroideo-Glomeraceae			
Claroideoglomusetunicatum	16,67	83,33	-
Gigasporaceae			
*Gigaspora*sp	16,67	-	-
Glomeraceae			
Glomusclavisporum	100	100	100
Glomusformosanum	16,67	-	-
Glomusglomerulatum	16,67	16,67	-
Glomusmacrocarpum	100	100	100
*Glomus*sp 1	83,33	33,33	-
*Glomus*sp 2	83,33	-	16,67
Rhizoglomusmicroaggregatum	100	100	16,67

Terço Superior: Presença de cobertura florestal com predominância de espécies das famílias Fabaceae, Lecythidaceae e Euphorbiaceae; Terço Médio: Predominância de Poaceae (gramíneas) rasteira e ausência de árvores;Terço Inferior: Presença de espécies arbóreas com predominância das famílias Fabaceae, Sapotaceae; Euphorbiaceae e Apocynaceae.

Os gêneros *Glomus* (7) e *Acaulospora* (4) apresentaram o maior número de espécies, seguidos de *Ambispora*, *Claroideoglomus*, *Gigaspora* e *Rhizoglomus* com uma espécie cada (Tabela 2).

As famílias Acaulosporaceae e Glomeraceae são as que apresentam maior número de espécies identificadas dentro do filo Glomeromycota (SILVA et al., 2014), e estudos mostram maior capacidade de adaptação dessas famílias a solos submetidas a diferentes usos e manejos (FERREIRAet al., 2012).

Para as espécies *Glomus macrocarpum, Rhizoglomus microaggregatum* e *Glomus clavisporum*foi verificada uma alta frequência relativa de ocorrência (FRO) (>80%) na maioria das áreas (Tabela 2). Enquanto *Acaulospora* sp., *Acaulospora foveata* e *Glomus* sp1 foram observadas apenas no terço superior (espécies arbóreas) e com baixa FRO; *Acaulospora spinosa* foi encontrada no terço médio, sob gramíneas, também com baixa FRO (Tabela 2). Para as demais espécies não foi verificado um padrão de ocorrência (Tabela 2).

A análise de agrupamento, considerando a frequência relativa de ocorrência de espécies de FMA, mostrou a formação de dois grupos distintos (Figura 1). O primeiro grupo, formado apenas pelo terço inferior, se distanciou em aproximadamente 45% do segundo grupo, constituído pelos terços superior e médio. Maior similaridade (~70%) foi observada entre os terços superior e médio, com a presença de espécies arbóreas e gramíneas, respectivamente (Figura 1).

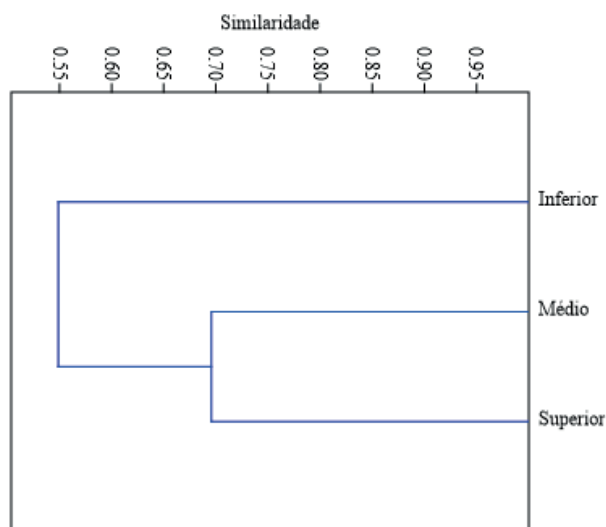



Figura1: Dendrograma de similaridade (MétodoDice; Grupo Pareado) considerando a freqüência relativa de ocorrência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em uma topossequência com diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Terço Superior: Presença de cobertura florestal com predominância de espécies das famílias Fabaceae, Lecythidaceae e Euphorbiaceae; Terço Médio: Predominância de Poaceae (gramíneas) rasteira e ausência de árvores;Terço Inferior: Presença de espécies arbóreas com predominância das famílias Fabaceae, Sapotaceae; Euphorbiaceae e Apocynaceae.

CONCLUSÕES

Há uma maior riqueza de espécies dos FMA nas áreas com a presença das espécies arbóreas e as gramíneas, nos terços mais elevados da paisagem. Os resultados de correlação sugerem o efeito dos menores teores de P, na maior riqueza de espécies de FMA.

Maior similaridade na composição da comunidade de FMA é observada entre os terços mais elevados da paisagem (superior e médio), com a presença de espécies arbóreas e gramíneas, respectivamente

As espécies *Ambispora leptoticha, Glomus clavisporum, Glomus macrocarpum e Rizoglomus microaggregatum* foram encontradas sob todas as coberturas vegetais, nos diferentes terços da paisagem. *Acaulospora foveata e Acaulospora* sp. foram observadas apenas no terço superior; enquanto *Acaulospora spinosa* apenas no terço médio, e para as demais espécies não foi observado um padrão de ocorrência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Proverde e a FAPERJ pela oportunidade e financiamento dessa pesquisa. Agradeço também ao Laboratório de Indicadores Edafos Ambientais (LIEA), ao Laboratório de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental (LISA) e à Embrapa/Agrobiologia e aos seus funcionários pela oportunidade de aprender e executar as técnicas científicas indispensáveis pela realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DRIVER, J.D.; HOLBEN et al. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**,v. 37, p.101–106, 2005.

FERREIRA, D.A.; et al. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 51-61, 2012.

GERDEMANN, J.W.; et al Spores ofmycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 6, p. 235-244, 1963.

GUPTA, M.M. Arbuscular Mycorrhizal Fungi: The Potential Soil Health Indicators. In: Giri, B., Varma, A. (eds) **Soil Health. Soil Biology**, v. 59. Springer, Cham., 2020.

JENKINS, W.R.A. rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, p. 692, 1964.

KIM, K. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi community linkages to soil nutriente availability across contrasting agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, v.176, p. 104464, 2022.

LIMA, S.S.;et al. **Diversidade da fauna epígea sob diferentes coberturas vegetais no jardim botânico da UFRRJ**. In: Meio Ambiente com Sustentabilidade 2. Capítulo 8. 2019.

LIU, S. et al. Mapping the scientific knowledge of glomalin-related soil protein with implications for carbon sequestration. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 2085185, 2022.

CAPÍTULO 27

AGREGAÇÃO E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO NO JARDIM BOTÂNICO DA UFRRJ

Data de aceite: 01/04/2024

Isabella Silva Lopes
Estudante de Engenharia Florestal (UFRRJ)

Matheus Corrêa de Oliveira
Estudante de Agronomia (UFRRJ)

Ingryd Cardoso Estaky Cabral
Estudante de Engenharia Agrícola e Ambiental (UFRRJ)

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Doutorando (PPGA-CS/UFRRJ)

Cristiane Figueira da Silva
Pós doutoranda (PPGA–CS/UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo do estudo foi avaliar a agregação e os teores de carbono das frações húmicas da matéria orgânica do solo em uma topossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Foram coletadas amostras indeformadas na camada de 0–10 cm em áreas de Argissolo Vermelho-Amarelo (terço superior da paisagem) e Argissolo Amarelo (terço médio) sob diferentes coberturas vegetais. Foi avaliado o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) e quantificado os teores de carbono das frações húmicas da matéria orgânica do solo (MOS) em relação aos teores de carbono orgânico total (COT). Verificou-se maiores valores de DMP nos agregados do terço médio. Em relação ao COT, observou-se no terço superior maiores teores. Não houve diferença entre as áreas em relação aos valores das substâncias húmicas, com exceção da humina, sendo observado maiores valores no terço médio da paisagem.

PALAVRAS-CHAVE: carbono orgânico total, estrutura do solo, topossequência

AGGREGATION AND HUMIC SUBSTANCES AS INDICATORS OF SOIL QUALITY IN THE JARDIM BOTÂNICO OF THE UFRRJ

ABSTRACT: The aim of the study was to assess the degree of aggregation and the carbon content of the humic fractions of soil organic matter in a toposequence under different vegetation covers at the Jardim Botanico of Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Undeformed samples

were collected in the 0-10 cm layer in areas of Argissolo Vermelho-Amarelo (upper third of the landscape) and Argissolo Amarelo (middle third) under different vegetation covers. The weighted average aggregate diameter (WAD) was assessed and the carbon content of the humic fractions of soil organic matter (SOM) was quantified in relation to the total organic carbon (TOC) content. The highest WAD values were observed in the aggregates of the middle third. With regard to TOC, higher levels were found in the upper third. There was no difference between the areas in terms of humic substance values, with the exception of humin, which had a higher values in the middle third of the landscape.
KEYWORDS: soil structure, toposequence, total organic carbon

INTRODUÇÃO

Jardins Botânicos são áreas criadas com a finalidade de promover a conservação dos ecossistemas naturais a partir de estudos, pesquisas e educação socioambiental, além de servirem como área de recreação e proximidade com a natureza em grandes centros urbanos (SCHULTZ et al., 2019). Entre todos os serviços ecossistêmicos promovidos pelas áreas de parques naturais, podemos ressaltar para este estudo o sequestro de carbono e a retenção de água pelo solo. Neste contexto, alguns atributos do solo podem ser utilizados na avaliação da qualidade do solo dessas áreas.

A estrutura e a matéria orgânica do solo (MOS) são importantes indicadores da qualidade do solo devido a elevada susceptibilidade às alterações antrópicas. A estrutura do solo refere-se a organização das partículas unitárias sólidas do solo (areia, silte e argila). Essas partículas podem reunir-se em unidades estruturais de maior tamanho, sendo denominadas de agregados. Essa organização se dá pelo processo de agregação, no qual as substâncias húmicas possuem papel fundamental na cimentação das partículas e estabilidade dos agregados (LEPSCH, 2021). Essa interação também promove proteção física da MOS, permitindo o seu acúmulo. O tamanho e o grau do desenvolvimento dos agregados do solo podem influenciar na infiltração e retenção de água no solo, aeração e resistência a penetração de raízes. Servindo, portanto, como indicadores de processos de degradação do solo (LEPSCH, 2021).

As substâncias húmicas (SHs) são substâncias orgânicas complexas que compõe de 60% a 80% da MOS, sendo frações bastante estáveis e resistentes aos ataques microbianos e enzimáticos (LEPSCH, 2021). Em regiões de clima tropical, os principais fatores que atuam na formação das SHs são a temperatura e drenagem que, por sua vez, influenciam na atividade biológica (CUNHA et al., 2005). A partir do exposto, o estudo teve como objetivo avaliar o grau de agregação e os teores de carbono das frações húmicas da MOS em uma topossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Jardim Botânico (JB) do campus da UFRRJ, localizado no município de Seropédica, RJ. O município está sob o predomínio do bioma Mata Atlântica e clima tropical úmido (Aw, segundo a classificação de Koppen). A amostragem foi distribuída em duas áreas localizadas em uma topossequência (terços superior e médio) com pequena variação na declividade, porém com coberturas vegetais distinta. O terço superior é dominado por espécies arbóreas das famílias botânicas Rubiaceae, Lecythidaceae, Sapindaceae, Chrysobalanaceae e Fabaceae; o terço médio é caracterizado por vegetação rasteira da família Poaceae e ausência de espécies arbóreas (LIMA et al., 2019). Segundo PINHEIRO JUNIOR et al. (2022), as classes de solo dos pontos coletados foram Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo para os terços superior e médio, respectivamente, classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

Em cada ponto da topossequência foram coletadas, com o auxílio de um enxadão, no período chuvoso, quatro amostras simples de terra deformadas e indeformadas (torrões) na profundidade de 0–10 cm para compor uma amostra composta, em um total de seis amostras compostas por terço. No terço com a presença de espécies arbóreas, a coleta foi realizada sob a copa das árvores. Após a coleta, para avaliação da fertilidade do solo, as amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm. Foram realizadas as seguintes análises químicas: a) pH em água na relação 1:2,5 (solo: água); b) Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1}, analisados por titulometria: c) P, K^{+} e Na^{+} extraídos pelo método $Mehlich^{-1}$ e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente, d) H+Al avaliados a através de solução de acetato de cálcio 0,025 mol L^{-1}, e carbono orgânico total pela oxidação via úmida, com dicromato de potássio segundo TEIXEIRA et al. (2017). A partir dos dados obtidos foram calculados o Valor S (soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio) e o Valor T.

Para avaliação da estabilidade de agregados e das SHs, as amostras indeformadas foram secas ao ar e posteriormente submetidas a peneiramento, utilizando-se um conjunto de peneiras de 8,0 e 4,0 mm de malha. Na sequência, 25 g de agregados foram pesados e submetidos à análise de estabilidade via úmida, utilizando-se tamisação vertical, com conjunto de peneiras com malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; e 0,106 mm, por 15 min, no aparelho de Yoder (Yoder,1936). A partir dos dados de massa de agregados, foi calculado seu diâmetro médio ponderado (DMP) (TEIXEIRA et al., 2017).

Os agregados que não foram submetidos a peneiramento úmido, foram destorroados e passados por peneira de 2,0 mm de diâmetro de malha para obter a fração terra fina seca ao ar (TFSA). O carbono orgânico total (COT) foi determinado via oxidação úmida da matéria orgânica do solo segundo YEOMANS; BREMNER (1988). As SHs foram obtidas pela extração e separação por meio da solubilidade diferencial da matéria orgânica do solo

(MOS) em meio básico ou ácido (ácidos fúlvicos e húmicos) e o resíduo (humina) (BENITES et al., 2003). A determinação do carbono orgânico em cada uma das frações húmicas, ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-FHUM), foi realizada de acordo com YEOMANS;BREMNER (1988). A partir dos resultados obtidos, foi calculado a porcentagem em que cada fração húmica em relação ao COT.

Os dados foram analisados quanto a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. As variáveis que não apresentarem distribuição normal ou homogeneidade foram transformadas de acordo com o teste de Box-Cox e foram novamente testadas. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste T de Bonferroni a 5% quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos (variáveis transformadas ou não). Estas análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico Sisvar 4.6. Algumas variáveis não atenderam os pressupostos da análise de variância mesmo após transformação, nesses casos, foram analisadas pelo teste não-paramétrico de Mann Whitney a 5% mais diferença mínima significativa de Fisher (LSD) com correção de Bonferroni. Adicionalmente foi realizada a análise de componentes principais (APC) baseada na matriz de correlação de Pearson. Todos os testes estatísticos foram realizados à 5% de significância pelo Software R (R CORE TEAM, 2020) com os pacotes "ExpDes. pt" e "Ggplot2".

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tanto a agregação do solo quanto os teores de carbono das frações húmicas da matéria orgânica do solo (MOS) foram influenciados pelas condições edáficas inerentes ao ponto da paisagem avaliado (Tabela 1).

Tabela 1: Diâmetro médio ponderado (DMP), carbono orgânico total e fracionamento químico da matéria orgânica de agregados do solo (profundidade de 0-10 cm) de áreas com diferentes coberturas vegetais no Jardim Botânico, Seropédica–RJ.

Terços	DMP[3]	COT[1]	CAH[1]	CAF[1]	CHum[1]	CAF[2]	CAH[1]	CHum[1]	CSH[1]	CNH[1]
	mm	--------------g kg^{-1}-------------				---------------------------%------------------------				
Superior	4,21 b	33,03 a	3,82 a	1,92 a	8,28 a	5,82 a	11,83 a	24,69 b	42,34 b	37,54 b
Médio	4,77 a	25,03 b	3,51 a	1,88 a	10,32 a	7,76 a	14,21 a	40,49 a	62,46 a	57,66 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem os pontos da topossequência. (1) ANOVA + Test T de Bonferroni sem transformação dos dados a 5% de probabilidade; (2) ANOVA + Test T de Bonferroni com transformação dos dados a 5% de probabilidade; (3) Teste de Kruskal-Wallis + diferença mínima significativa de Fisher (LSD) com correção de Bonferroni. DMP: Diâmetro; médio ponderado; COT: Carbono orgânico total; CAF: Carbono orgânico da fração ácido fúlvico; CAH: Carbono orgânico da fração ácido húmico; CHum: Carbono orgânico da fração humina; CSH: Carbono das substância húmicas; e CNH: Carbono não humificado.

Os maiores valores de DMP foram quantificados na área do terço médio da encosta (Tabela 1). Entretanto, os valores de DMP observados em ambas as áreas foram superiores à 4,00 mm, indicando elevada estabilidade dos agregados. Agregados com valores de DMP superiores a 2,00 mm indicam solos com condições físicas estáveis e favoráveis em relação a aeração e infiltração de água (BRIEDIS et al., 2012; SCHULTZ et al., 2019). Esta variável pode ser relacionada aos teores de C-HUM, que também foram maiores neste terço. A humina é a fração húmica responsável pela formação e estabilidade de agregados e em solos tropicais representa a maior parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003). As raízes finas das gramíneas da família Poaceae podem ter favorecido a formação e estabilidade dos agregados, promovendo a proteção e humificação da MOS. Foi verificado no terço superior maiores teores de COT, evidenciando a contribuição das copas das espécies arbóreas no aporte constante de material orgânico. Não foi observada contribuição das coberturas vegetais nas frações ácido húmico e ácido fúlvico (Tabela 1).

Na análise de componentes principais (ACP) foi observada variância acumulada para os componentes principais (PC) 1 e 2 de 66% (Figura 1). Analisando a Figura 1 foi possível verificar uma nítida separação dos pontos avaliados da topossequência. Ambos separados ao longo dos dois eixos, a saber: a área do terço superior no quadrante superior esquerdo; e a área do terço médio no quadrante inferior direito (Figura 1). As variáveis que apresentaram elevada correlação ($-0,70 \leq r \geq 0,70$), contribuindo fortemente para a formação do PC (45,5%; eixo de maior relevância) foram %HUMag (0,97), %SHag (0,92), valor S (0,94), K^+ (0,89), Ca^{2+} (0,86), DMP (0,85), Mg^{2+} (0,81), P (0,81), Na^+ (0,75), valor V (0,75) e %CNHag (–0,92). Em relação ao PC2, este explicou 20,3% da variabilidade total dos dados e teve como principais variáveis correlacionadas CFAFag (0,86), H+Al (0,84) e valor T (0,81).

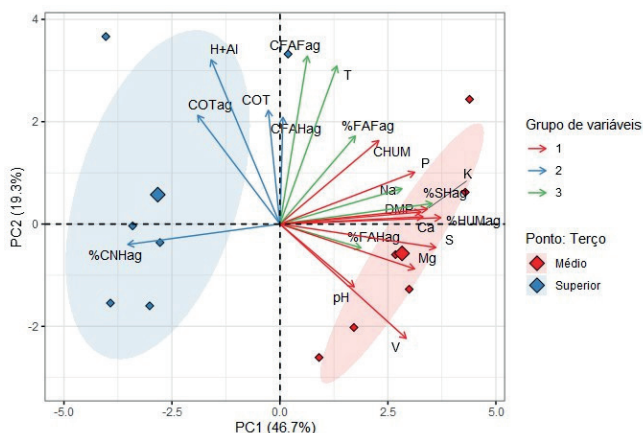



Figura 1: Análise de componentes principais integrando as variáveis numa topossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da UFRRJ.

DMP: Diâmetro médio ponderado; COT: Carbono orgânico total; pH: Acidez ativa; Ca^{2+}: Cálcio trocável; Mg^{2+}: Magnésio trocável; H+Al: Acidez potencial; K^{+}: Potássio trocável; P:Fósforo disponível; S: Soma de bases; T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: Saturação de bases; COTag: Carbono orgânico total dos agregados; CFAFag: Carbono da fração ácido fúlvico dos agregados; CFAHag: Carbono da fração ácido húmico dos agregados; CHUMag: Carbono da fração humina dos agregados; %FAFag: Porcentagem de carbono da fração ácido fúlvico dos agregados; %FAHag: Porcentagem de carbono da fração ácido húmico dos agregados; %HUMag: Porcentagem de carbono da fração humina dos agregados; %SH: Porcentagem de carbono humificado dos agregados; e %CNH: Porcentagem de carbono não humificado dos agregados.

Através da aplicação do método das k-médias, foi possível agrupar as variáveis em três “cluster” distintos, o 1° cluster é formado pelos atributos pH, CHUMag, %HUMag, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, P, valor S, valor V e DMP, estes atributos estão mais associados à área do terço médio da paisagem; o 2° cluster é composto por CFAHag, COTag, %CNHag, H+Al e COT, a maior parte do seus atributos estão relacionados à área do terço superior da encosta; e o 3° cluster é formado pelos atributos CFAFag, %FAFag, %FAHag, %SHag, Na^{+} e valor T.

CONCLUSÕES

Foi verificado um elevado grau de agregação em ambas as áreas, com destaque para o terço médio da paisagem. Esse elevado grau de agregação pode estar associado aos teores de carbono da fração humina, que foram maiores nesta área. A análise dos componentes principais foi eficiente no agrupamento das variáveis que estão mais associadas a cada um dos terços.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CAPES, CNPq, FAPERJ, PPGA-CS/UFRRJ E Jardim Botânico/UFRRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENITES, V. M., MADARI, B., MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 7p., 2003.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; BOER, A.; NETO, C.Q.; FERREIRA, A.O.; CANALLI, L.B.; SANTOS, J.B. **Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregates classes influenced by surface liming in a no-till system. Geoderma**, 170:80-88, 2012.

CUNHA, T. J. F.; CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RIBEIRO, L. P. **Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros**. In.: CANELLAS. L. P. & SANTOS, G. A LEPSCH, I F. 19 lições de pedologia 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. 310p

LIMA, S S.; CABREIRA, W V.; SILVA, R G.; SILVA, R M.; SANTOS, R N.; FERNANDES, D.A.C.; PEREIRA, M.G. **Diversidade da epígea sob diferentes coberturas vegetais no jardim botânico da UFRRJ**. In: Meio Ambiente com Sustentabilidade 2. Capítulo 8. 2019.

PINHEIRO JUNIOR, C R.; PEREIRA, MG.; GOMES, G H J.; CABREIRA, V W.; CEDDIA, B M.; FREIRE, O M. **Solos do Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**. In: Pesquisas no Jardim Botânico da UFRRJ. Rio de Janeiro: Edur, 2022. 274p

R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SCHULTZ N.; PINTO, L. A. S. R.; LIMA, S. S.; ZIVIANI, M. M.; ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G. **Agregação do solo e atributos químicos em áreas com diferentes coberturas vegetais In: Características do Solo e sua Interação com as Plantas** 2.2 ed.: Atena Editora, v.2, p. 1-12, 2019.

TEIXEIRA PC, DONAGEMA GK, FONTANA A, TEIXEIRA WG (2017). **Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: Embrapa, Livro técnico** (INFOTECA-E), 3. ed. rev. e ampl. 573p.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. Communications Soil Science and Plant Analysis, 19:1467-1476, 1988.

YODER RE (1936) **A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses**. Journal - American Society of Agronomy 28, 337–351.

CAPÍTULO 28

CARACTERIZAÇÃO DE BAGAÇO DE MALTE COMO POSSÍVEL SUBPRODUTO PARA USO NA AGRICULTURA

Data de aceite: 01/04/2024

Izabela Gouveia Nascimento
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

Clenya Carla Leandro de Oliveira
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

Erica Souto Abreu Lima
Professora do Departamento de Solos (UFRRJ)

Érika Flávia Machado Pinheiro
Professora do Departamento de Agrotecnologias e Sustentabilidade (UFRRJ)

Camila da Costa Barros de Souza
Pós-doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

David Vilas Boas de Campos
Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

RESUMO: O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de reuso do bagaço de malte, oriundo da primeira etapa de filtração da cerveja, como adubo orgânico. Para isso, realizou-se a análise elementar para avaliar o teor de C e N, bem como a relação C:N do resíduo, pH e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os resultados apresentaram valor de pH de 7,18; os teores de C e N foram de 47,36% e 4%, respectivamente, e relação C:N equivalente a 12, valores que se encontram dentro do que consta na literatura. Conclui-se, portanto, que este resíduo cervejeiro tem potencial de reuso como adubo orgânico, principalmente, se incorporado a outros subprodutos, de forma a aumentar suas potencialidades de uso.

PALAVRAS-CHAVE: cervejaria, economia circular, resíduo agroindustrial.

CHARACTERIZATION OF MALT BAGASSE AS A POSSIBLE BY-PRODUCT FOR USE IN AGRICULTURE

ABSTRACT: The aim of this study was to assess the potential for reusing malt pomace from the first stage of beer filtration as an organic fertilizer. To this end, elemental analysis was carried out to assess the C and N content, as well as the C:N ratio of the waste, pH and Scanning Electron

Microscopy (SEM). The results showed a pH value of 7.18, C and N contents of 47.36% and 4%, respectively, and a C:N ratio equivalent to 12, values that are within the range of those reported in the literature. It can therefore be concluded that this brewery waste has the potential to be reused as an organic fertilizer, especially if it is incorporated into other by-products in order to increase its potential for use.
KEYWORDS: agro-industrial waste, brewery, circular economy.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a terceira posição no ranking de maior produtor de cerveja do mundo. Apesar de sua importância, a indústria cervejeira gera quantidades substanciais de resíduos com caráter orgânico que, ao não receberem uma destinação específica, tornam-se fontes de contaminação ambiental. Desta forma, estudar diferentes formas de agregar-lhes valor, ao explorar suas potencialidades de uso em diferentes vertentes, de maneira sustentável e menos onerosa, faz-se necessário ao observar que ainda há poucas pesquisas disponíveis acerca desse assunto.

Dentre os resíduos provenientes da produção de cervejas destacam-se o bagaço de malte (BM), levedura, lúpulo e terra de diatomáceas, além de água residuária oriunda da planta de processamento. Essas biomassas possuem características importantes que apontam o potencial agronômico que propicia seu reaproveitamento na agricultura, sendo elas: i) são ricas em matéria orgânica, ii) granulometria, iii) vasta área superficial, iv) porosidade, v) morfologia da superfície, e vi) compressibilidade destes materiais. A superfície específica e a presença de grupos funcionais com cargas elétricas na superfície são fatores fundamentais.

Tais propriedades podem ser exploradas visando a obtenção de subprodutos orgânicos inovadores com teores de nutrientes capazes de suprir as necessidades das plantas, contribuindo com o seu desenvolvimento, principalmente, ao aumentar os teores de Ca, Mg e K, além de servirem como corretivos no solo auxiliando no aumento da produtividade agrícola e sendo um produto facilmente disponível.

Diante do exposto, e sabendo que estamos vivenciando a década da Agenda 2030 da ONU, podemos destacar que este trabalho se enquadra nos seguintes Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS): i) ODS 2 (Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável); iii) ODS 12 (Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis); iv) ODS 13 (Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos); e vi) ODS 17 (Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável) (IPEA, 2018). Assim, por meio dos ODS, podemos assumir que, apesar de esta ser uma agenda global, as temáticas de cada ODS constituem ferramentas que podem ser implantadas por várias esferas, dentre elas, as universidades (IPEA, 2018) de forma a contribuir, por meio do desenvolvimento de pesquisas e tecnologias, com o desenvolvimento sustentável. Partindo desta premissa, o objetivo deste trabalho é explorar o potencial de uso do resíduo cervejeiro (bagaço de malte) como um adubo orgânico para ser utilizado na produção agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do resíduo cervejeiro

Para a realização deste trabalho foi utilizado BM cedido pela Cervejaria Ambev, sediada no Rio de Janeiro/RJ.

O BM foi previamente submetido à secagem para remoção do excesso de umidade, em seguida, moído em moinho de facas tipo Willey e peneirado, em peneira de 500 µm, para remoção das impurezas presentes.

- Análise de carbono e nitrogênio: as amostras foram finamente moídas (< 250 µm) (Smith & Myung, 1990) e a determinação do teor de C e N foi feita por combustão total com auxílio de analisador automático CHN, da marca Perkim Elmer. Os resultados de C e N, referentes ao bagaço de malte, foram obtidos por meio dos dados levantados por Figueiredo (2023).
- pH: o valor de pH foi mensurado em água destilada com auxílio de pHmetro de bancada modelo mPA-210, à temperatura de 24 °C, conforme o Método 9045D (USEPA, 2004). Todas as análises foram realizadas em triplicata.
- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): a morfologia do resíduo foi avaliada por meio da técnica de microscopia eletrônica de varredura com aumentos variando entre 200 x até 1.200 x. Para a obtenção das imagens, utilizou-se um Microscópio Eletrônico de Varredura da marca Hitachi, modelo TM-3000, com voltagem de aceleração de 15 kV e ampliação de até 30.000 vezes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os teores percentuais de carbono (C) e nitrogênio (N), obtidos por meio de análise elementar para o bagaço de malte, bem como sua relação C:N e valor de pH.

Tabela 1: Caracterização do bagaço de malte.

Resíduo	pH	C (%)	N (%)	C:N
Bagaço de malte	7,18 ± 0,17	47,36 ± 0,05*	4,00 ± 0,07*	12

Nota: C:N= Relação Carbono/Nitrogênio; Média e Desvio padrão com 4 repetições. * Figueiredo (2023).

O BM apresentou valor de pH próximo do neutro (7,18) (Tabela 1), resultado este que não era o esperado, sabendo-se que a cerveja é um produto levemente ácido, cujo mosto apresenta um valor entre 5,0 e 6,0 (às vezes entre 4,5 e 6,0), faixa adequada para as reações enzimáticas. No entanto, este resultado pode estar relacionado, por exemplo, às características da matéria-prima utilizada e/ou ao armazenamento do BM, após o processamento da cerveja. De acordo com ASSANDRI et al. (2021), os valores de pH para

este resíduo descritos na literatura variam entre 3,80 e 6,90, e podem ser observados em trabalhos como de BORTOLI et al. (2022); LOPES (2020); FONTANA;CECHINEL (2016); e ABOUKILA et al. (2018) com valores de pH de 6,57; 5,64; 5,90 e 4,20, respectivamente. Por outro lado, IZINYON et al. (2016) obtiveram valor de pH neutro, na faixa de 7,70, que é próximo ao resultado desta pesquisa.

O BM apresentou teores de C e N de 47,36 % e 4,00 %, respectivamente (Tabela 1), valores semelhantes aos obtidos por Borél (2018), que foi de 47,61 % e 3,81 %, respectivamente, e LOPES (2020), que foi de 46,92 % (C) e 4,35 % (N). Este resultado obtido para o BM destaca a alta concentração de N, com valores próximos ao obtido para a torta de mamona (aproximadamente 5 % de N) e girassol (4 %) por PEREIRA et al.(2016).

A relação C:N para o BM foi de 12 (Tabela 1), valor esse que se encontra dentro do descrito na literatura, conforme aponta ASSANDRI et al. (2021). Esta relação, de maneira geral, é um indicador significativo no processo de decomposição de resíduos com potencial de uso na agricultura, fornecendo informações acerca da sua humificação no solo (MORAES et al., 2015; Silva, 2017).

Na literatura, para além do seu potencial de utilização em outras vertentes, o resíduo cervejeiro avaliado neste trabalho também demonstrou resultados promissores para uso agronômico. MAEDA et al. (2006) demonstraram que o uso de substratos a partir de resíduos de serragem de madeira, BM e composto de esterco caprino promoveram o crescimento de mudas de espécies florestais, independente da utilização de adubação de base. MALTA; CURY (2021) comprovaram que a adubação de plantas de pinhão-manso, salsa-lisa e milho com composto orgânico proveniente da compostagem de BM e restos de capina promoveu o crescimento destas plantas. ALMEIDA et al. (2021), ao caracterizarem compostagem de BM e cama de aviário, com e sem adição de gesso de jazida, observaram que ambos os compostos apresentaram tendência em produzir volumes mais elevados de compostos organominerais com alcalinidade próxima ou inferior a dos compostos orgânicos, porém, com elevada salinidade; assumindo, então, que os compostos podem ser utilizados como substratos agrícolas.

O BM, por ser uma biomassa lignocelulósica constituída por celulose, hemicelulose e lignina, apresenta variações estruturais inerentes ao tipo do material (PIMENTA, 2022). A Figura 1 mostra as imagens de MEV do BM avaliado neste trabalho.

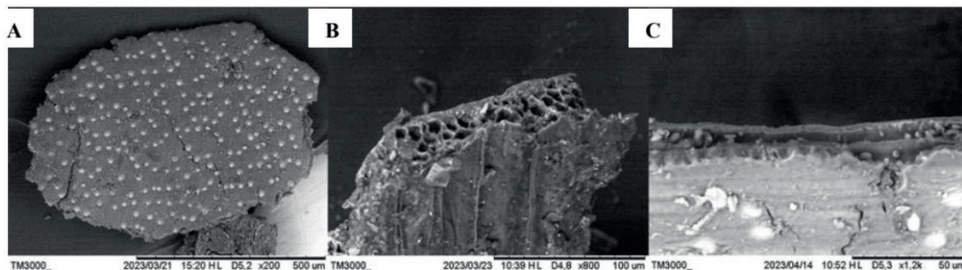



Figura 1: Microscopia eletrônica de varredura do bagaço de malte: (A) área de superfície – 200 x, (B) poros – 800 x e (C) fibras do resíduo – 1200 x.

Na imagem MEV da Figura 1 (A), é possível observar que a área de superfície do BM possui uma estrutura parcialmente lisa com a presença de pontos de erupção que, de acordo com Borél (2018), são poros preenchidos. Essa característica rugosa da área de superfície específica do BM, pode favorecer processos como o de adsorção. Em corte transversal, são observados os poros e os filamentos fibrosos que compõem o interior do BM (Figura 1B e 1C), respectivamente. Estes resultados são semelhantes aos observados por MELLO;MALI (2020), FONTANA;CECHINEL (2016) e MARCHESE (2019).

CONCLUSÕES

O resíduo cervejeiro avaliado (bagaço de malte), apesar de ser visto como um subproduto sem destinação final definida e com baixo valor agregado, devido a sua composição, mostra-se como uma boa fonte alternativa para ser reaproveitado na cadeia produtiva na forma de adubo orgânico em cultivos agrícolas, principalmente se incorporado a outro substrato. Apesar disso, por haver uma crescente utilização de biomassas oriundas de diversas origens na agricultura, sugere-se uma maior exploração de suas características de forma a ampliar as formas de aproveitamento e suprir as necessidades de mais informações acerca destes tipos de estudos no Brasil.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABOUKILA, E.F. et al. Reclamation of calcareous soil and improvement of squash growth using brewers' spent grain and compost. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, p. 390-397, 2018.

ALMEIDA, M.E.N. et al. Avaliação de compostagem e compostos associados a bagaço de malte, cama de aviário e gesso de jazida. **Acta Tecnológica**, v. 14, n. 2, p. 93-104, 2021.

ASSANDRI, D. et al. Suitability of Composting Process for the Disposal and Valorization of Brewer's Spent Grain. **Agriculture**, v. 11, n. 1-2, 2021.

BORÉL, L.D.M.S. **Estudo de aplicação da pirólise rápida em leito de jorro para valorização de resíduos agroindustriais**. 2018. 193 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

BORTOLI, B.F.; BACHMANN, S.A.L.; BELTRAME, T.F. Preliminary study on the characterization of in natura malt residue from a brewery for potential use as an adsorbent in removing Reactive red 120 from aqueous solution. **Ciência e Natura**, *[S. l.]*, v. 44, Ed. Esp. VI SSS, e5, 2022.

FIGUEIREDO, M.A. **Produção de fertilizantes organominerais a partir de resíduos de cervejaria**. 2023. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023.

FONTANA, I.B.; CECHINEL, M.A.P. **Utilização de resíduo da indústria cervejeira na biossorção de íons metálicos presentes em águas subterrâneas e superficiais**. 2016. 16 p. Artigo (Trabalho de Conclusão em Engenharia Química) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2016.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **AGENDA 2030 - ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Brasília. 2018. Disponível em:https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=33895&Itemid=433. Acesso em: 28 Out.2023.

IZINYON, O.C. et al. Performance evaluation of Fe (III) adsorption onto brewers' spent grain. **Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)**, v. 35, n. 4, p. 970-978, 2016.

LOPES, S.P. **Uso de resíduo de terra de diatomáceas e amido de milho visando a redução da volatilização de NH_3 na compostagem de bagaço de malte**. 2020. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

MAEDA, S. et al. Resíduos industriais e dejetos da caprinocultura como componentes de substratos para produção de mudas de *Eucalyptus badjensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 53, p. 3-20, 2006.

MALTA, P.C.C.; CURY, J.C. Reaproveitamento do bagaço de malte proveniente da produção de cerveja artesanal para a produção de composto orgânico. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 90, 2021.

MARCHESE, L. **Pirólise de bagaço de malte e resíduo de erva-mate: caracterização e estudo cinético por métodos isoconversionais**. 2019. 66 p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

MELLO, L.R.P.F.; MALI, S. A combination of chemical and physical pretreatments in the saccharification of malt bagasse: the effects of ultrasonication in diluted acid medium. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2020.

MORAES, A.R.A. de et al. Teores de Carbono, Nitrogênio e Relação C:N em solos cultivados com soja em sistema plantio direto e convencional em Paragominas, Pará. In: 35, Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal-RN, 2015. **Anais...** Natal, 2015. Disponível em: https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/2156.pdf. Acesso em: 21 Set.2023.

PEREIRA, F.A.C.; FERRAI, A.C.; ZONTA, E. **NPK em tortas de oleaginosas**. 2016. Disponível em: https://eventos.ufrrj.br/raic/files/2016/06/2932-10239-1-SM.pdf. Acesso em: 28 Out.2023.

PIMENTA, F.S. **Pirólise de bagaço de malte assistida por micro-ondas**. 2022. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

SILVA, A. P.B. da. **Influência do tipo de manejo (orgânico e convencional) na matéria orgânica de solos cultivados com citros**. 2017. 75 p. Dissertação (Mestrado em Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

SMITH, J.L.; MYUNG, M.H. Rapid procedures for preparing soil KCl extracts for ^{15}N analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 21, p. 2173-2180, 1990.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Method 9045D – Soilandwaste pH**. Nov./2004. 5 p.

CAPÍTULO 29

COMO AS PLANTAS DE COBERTURA ASSOCIADAS AO SISTEMA PLANTIO DIRETO CONTRIBUEM PARA O SOLO?

Data de aceite: 01/04/2024

Jhulia Kathelen Carvalho de Oliveira dos Santos
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Thassiany de Castro Alves
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (UFRRJ)

Eduardo Albano Gomes de Abreu
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

Nivaldo Schultz
Pesquisador do Departamento de Solos (UFRRJ)

Everaldo Zonta
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: Objetivo do trabalho foi avaliar a decomposição das plantas de cobertura e a liberação dos nutrientes em uma área de sistema plantio direto. O estudo foi realizado na propriedade orgânica Sítio do Sol em Seropédica – RJ. O experimento foi composto por blocos casualizados com três repetições das parcelas do sistema plantio direto – SPD e seis sub parcelas a saber: plantas de cobertura cultivadas isoladas (milheto, crotalária juncea e feijão de porco), cultivo em consorcio com dois coquetéis (100% e 50% da recomendação da semente) e sub tratamento com a manutenção das plantas espontâneas na área. Para avaliação da taxa de decomposição e liberação de nutrientes das plantas de cobertura, foi utilizado o método das bolsas de decomposição (litter bags), em cada bolsa foram colocados 10 g da parte aérea das plantas de cobertura secas em estufa e foram distribuídos quatro (litter bags) na superfície do solo em cada sub parcela, para realização de quatro amostragens, a primeira aos 15 e a última com 120 dias (15, 30, 60, 120). Para as curvas de decomposição e liberação dos nutrientes foram elaboradas equações matemáticas com auxílio do software SigmaPlot 14.0. Os resultados expressos em gráficos mostraram que as gramíneas, possuem menor velocidade de decomposição e podem fornecer ao solo palhada por mais tempo e as leguminosas fornecem nutrientes através da sua rápida liberação. O uso de coquetéis com ambas

as características são ferramentas promissoras para ciclagem de nutrientes, uma vez que a liberação dos macronutrientes (N, P e K) foi mais rápida pelos coquetéis. O uso de plantas de cobertura no SPD são estratégias promissoras para conservação do solo e consequentemente da vida terrestre, sendo pilares para auxílio nos ODS.
PALAVRAS-CHAVE: ciclagem de nutrientes, gramíneas, leguminosas, palhada.

HOW DO COVER CROPS ASSOCIATED WITH THE NO-TILL SYSTEM CONTRIBUTE TO THE SOIL?

ABSTRACT: The aim of the study was to evaluate the decomposition of cover crops and the release of nutrients over time in the no-till system. The study was carried out on the organic property Sítio do Sol in Seropédica - RJ. The experiment consisted of randomized blocks with three replications of no-till plots and six subplots which were cover crops grown alone (Millet, Crotalaria juncea and Pork Beans), intercropping with two cocktails (100% and 50% of the seed recommendation) and sub-treatment with the maintenance of spontaneous plants in the area. To assess the rate of decomposition and release of nutrients from the cover plants, the litter bags method was used. 10g of the aerial part of the oven-dried cover plants were placed in each bag and four litter bags were distributed on the surface of the soil in each sub-plot, to carry out four samples, the first at 15 and the last at 120 days (15, 30, 60, 120). Mathematical equations were drawn up for the nutrient decomposition and release curves, which were best represented using the SigmaPlot 14.0 software. The results expressed in graphs showed that grasses have a slower rate of decomposition and can provide the soil with mulch for longer, while legumes provide nutrients through their rapid release of elements that promote nutrient cycling. The use of cocktails with both characteristics are promising tools for nutrient cycling, since the release of macronutrients (N, P and K) was faster with the cocktails. The use of cover crops attributed to SPD are promising strategies for conserving the soil and, consequently, terrestrial life, and are pillars for helping with the SDGs.
KEYWORDS: grasses, legumes, mulch, nutrient cyling.

INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas conservacionistas como o sistema plantio direto (SPD) que visa atender as três premissas básicas para o cultivo da cultura principal, como o mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e a manutenção da cobertura do solo através do uso das plantas de cobertura (BERTOL, 2016), reflete na contribuição para manutenção dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas – ONU, através da priorização dos principais ODS como fome zero e agricultura sustentável, consumo e produção responsável e ação contra a mudança global do clima (ONU, 2023). Dentre as premissas básicas do SPD, as plantas de coberturas são caracterizadas como resíduos vegetais depositados sobre a superfície do solo, que originam a palhada e devem ser escolhidas de forma criteriosa em relação ao clima da região por apresentarem características diferentes. As espécies leguminosas, por exemplo, apresentam uma baixa relação C/N e uma taxa de decomposição alta (CERETTA et al.,

1994) enquanto as gramíneas apresentam alta relação C/N e baixa decomposição no solo (BORKERT et al., 2003).

Com isso, a aplicação de fertilizantes pode ser minimizada devido ao uso das plantas de cobertura especialmente as leguminosas (POTT, 2008) que incorporam N atmosférico devido a fixação biológica por bactérias simbióticas nas raízes (FERREIRA, 2012). O conhecimento sobre a decomposição e mineralização dos nutrientes das plantas de cobertura é importante para que estas possam ser introduzidas nos sistemas de manejo, promovendo a proteção do solo pela palhada na superfície e o fornecimento de nutrientes via ciclagem (MALUF et al., 2015). Com a liberação de nutrientes da palhada espera-se que as culturas subsequentes aproveitem esses nutrientes oriundos das plantas de cobertura, para completar seu ciclo e garantir altas produtividades minimizando o uso de fertilizantes. Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar a decomposição das plantas de cobertura e a liberação dos nutrientes em uma área de sistema plantio direto, localizada em Seropédica – RJ.

MATERIAL E MÉTODOS

A área determinada para o estudo está localizada na propriedade orgânica Sítio do Sol filiada a Associação de Agricultores Biológicos, localizada na reta dos 800, Piranema - Seropédica Rio de Janeiro. O experimento foi composto por blocos casualizados com três repetições das parcelas do sistema plantio direto – SPD e seis sub parcelas que foram as plantas de cobertura cultivadas isoladas (Milheto - M, Crotalária juncea - CJ e Feijão de porco - FP), cultivo em consorcio com dois coquetéis (100% - C1 e 50% - C2 da recomendação da semente) e a manutenção das plantas espontâneas (PE) na área. As plantas de cobertura foram semeadas na estação inverno, de acordo com Köppen (1928) o clima é considerado Aw tropical com chuvas no período de novembro a março.

Para avaliação da taxa de decomposição e liberação de nutrientes das plantas de cobertura, foi utilizado o método das bolsas de decomposição (litter bags) com malha de 2 mm de abertura, com dimensões de 0,20 x 0,20 m, conforme descrito por Santos & Whilford (1981). Em cada bolsa foram colocados 10 g da parte aérea das plantas de cobertura secas em estufa, a 65ºC até massa constante. Foram distribuídos quatro sacos de lixos (litter bags) na superfície do solo em cada parcela, para realização de quatro amostragens, a primeira aos 15 e a última com 120 dias (15, 30, 60, 120) após o manejo. Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais e a liberação de nutrientes foi aplicado o modelo matemático exponencial descrito por THOMAS; ASAKAWA (1993) conforme equação X = Xo. e-k.t, em que X é a quantidade de matéria seca remanescente após um período de tempo t, em dias; Xo é a quantidade de matéria seca ou nutriente inicial, e k é a constante de decomposição do resíduo. Com a aplicação do ln e reorganizando a equação 1; temos a segunda equação k = ln (X / Xo) / t, que foi utilizada para encontrar a constante de

decomposição. A partir do resultado da K foi calculado o tempo de meia vida (T ½) da matéria seca ou nutriente através da equação T ½ = ln (2) / k. Os valores obtidos expressaram o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nesses resíduos seja liberada (ESPÍNDOLA et al., 2006). Após a coleta das amostras em cada tempo, o resíduo vegetal de cada sacola foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65ºC até peso constante, depois moído e realizado a análise dos nutrientes. Para as curvas de decomposição e liberação dos nutrientes foram elaboradas equações matemáticas que melhor representa-se com auxílio do software SigmaPlot 14.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A linha com maior inclinação da curva de decomposição foi C2, C1, FP e PE estes foram os tratamentos com os valores mais expressivos da constante k (0,0107 g g^{-1} dia^{-1}, 0,0104 g g^{-1} dia^{-1}, 0,0108 g g^{-1} dia^{-1}, 0,0111 g g^{-1} dia^{-1}, respectivamente), enquanto os menores resultados foram verificados em M e CJ (Figura 1). Esse mesmo padrão de variação foi verificado para o tempo de meia-vida, que foi de 62 dias para PE; 63 dias para FP; 64 dias para C2; 66 dias para C1; 72 dias para CJ e 77 dias para o M. Resultados semelhantes foram encontrados por Rocha et al. (2021) nos quais as curvas de decomposição apresentaram o mesmo comportamento em comparação com espécies de leguminosas (FP) e gramíneas (M). Neste estudo, ambos os mix de planta de cobertura apresentaram curvas de decomposição com maior inclinação em comparação às encontradas no M. Este fator pode representar benefícios simultâneos quanto à manutenção da palha sobre o solo e a redução da imobilização de nitrogênio (N).

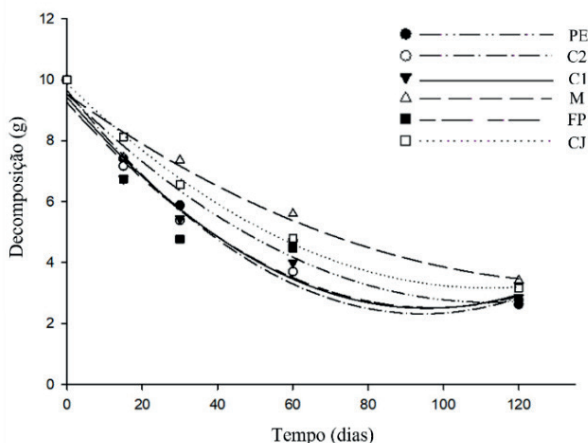



Figura 1: Curvas ajustadas com equação quadrática, para representar a decomposição das plantas de cobertura até os 120 dias. Fonte: Elaborado por Thassiany de Castro Alves, 2022.

Para as curvas de liberação dos nutrientes, no caso da liberação do N no início foi rápida para os coquetéis em relação as outras plantas como M, CJ, PE e FP em que a liberação foi mais lenta (Figura 2. A). Em relação a liberação dos nutrientes em cada planta de cobertura mostrou que o tempo de meia-vida para o N foi maior na cobertura M (151 dias) seguido da CJ (129 dias), PE (107 dias), FP (73 dias), C1 (49 dias) e C2 (44 dias). A menor velocidade de decomposição do milheto corroborou com a menor velocidade de liberação do N, que reforça a utilização da planta para a cobertura do solo. As curvas mais inclinadas mostraram maiores velocidades de liberação dos nutrientes, comportamento atribuído ao nutriente fósforo (P) para os coquetéis e CJ com maiores velocidades de liberação dos nutrientes, confirmado pelo tempo de meia-vida C1 (75 dias), C2 (67 dias), CJ (98 dias). É possível observar que o M e o FP apresentaram comportamento similar com lenta liberação deste nutriente, confirmado pelo tempo de meia-vida M (104 dias) e FP (280 dias) (Figura 2. B).

A maior liberação do potássio (K) apresentou maior velocidade para a CJ com T ½ de 34 dias, seguido do M (31 dias), PE (31 dias), FP (27 dias), C2 (20 dias) e C1 (19 dias). O K apresentou rápida liberação até os 40 dias, principalmente nos coquetéis, as outras coberturas apresentaram padrões próximos quanto à velocidade da liberação do nutriente (Figura 2. C). Resultado semelhante foi encontrado por TEIXEIRA et al. (2012) que verificaram uma rápida liberação até os 40 dias. Os gráficos mostraram que as gramíneas, possuem menor velocidade de decomposição e dessa forma podem fornecer ao solo palhada por mais tempo, em contrapartida as leguminosas fornecem nutrientes através da sua rápida decomposição favorecendo a ciclagem de nutrientes. O uso de coquetéis que são constituídos com plantas com características distintas é uma ferramenta promissora para a ciclagem de nutrientes, uma vez que a liberação dos macronutrientes (N, P e K) foi mais rápida pelos coquetéis.

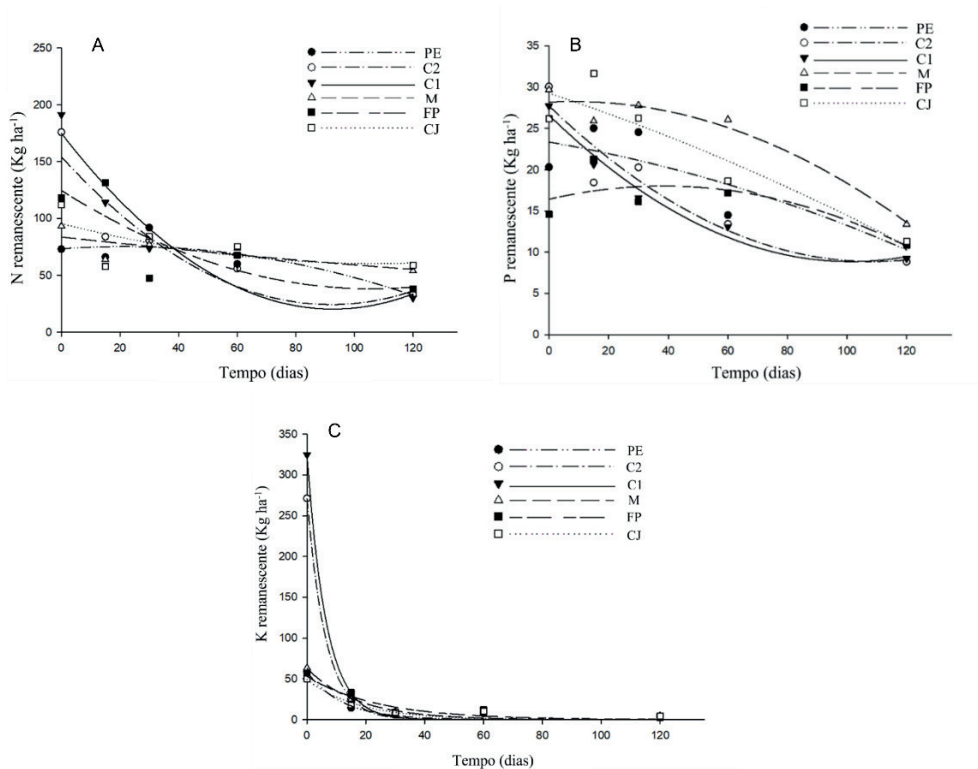



Figura 2: A. Curvas de liberação do nitrogênio para cada planta de cobertura ao longo do tempo. B. Curvas de liberação do fósforo para cada planta de cobertura ao longo do tempo. C. Curvas de liberação do potássio para cada planta de cobertura ao longo do tempo. Fonte: Elaborado por Thassiany de Castro Alves, 2022.

CONCLUSÕES

O uso de plantas de cobertura utilizadas no SPD são estratégias promissoras para conservação do solo e minimização do uso de fertilizantes através da liberação de nutrientes e proteção ao solo como verificado no estudo. Os coquetéis em todos os macronutrientes apresentaram decomposição e liberação dos nutrientes mais rápido em relação ao cultivo solteiro das espécies de leguminosas e gramíneas, confirmado pelo tempo de meia-vida.

AGRADECIMENTOS

A FAPERJ e ao CNPq pelo apoio financeiro destinado ao projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOL, I. Conservação do solo no brasil: histórico, situação atual e o que esperar para o futuro. Sociedade brasileira de ciência do solo. 48p. 2016, (Boletim informativo 42).

BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A; PEREIRA, J. E; PEREIRA, L. R; JUNIOR, A.O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 143-153, 2003.

CERETTA, C. A; AITA, C; BRAIDA, J. A; PAVINATO, A; SALET, R. L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 2, p. 215-220, 1994.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G. & URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 30:321-328, 2006.

FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P.; CHAVES, A. F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 33-38, 2012.

KÖPPEN, W., GEIGER, R. Klimate der Erde. Gotha: VerlagJustus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, p. 91-102, 1928.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; DA SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, L. O. G. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1681-1689, 2015.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Objetivos de Desenvolvimento sustentável. Disponível em:<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 08/11/2023.

POTT, C. A.; FELTRIN, D. M. Adubação verde em tomateiro cultivado em sistema de agricultura orgânica. **Ambiência**, v. 4, n. 2, p. 209-220, 2008.

ROCHA, L. V.; BIASSI, D.; RIBEIRO, J. C.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. No-tillage in organic production system: production parameters and biomass decomposition. **Comunicata Scientiae**, v. 12, p. e3157-e3157, 2021.

SANTOS, P. F.; WHITFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem Ecology, p. 654-663, 1981.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia (Arica)**, v. 30, n. 1, p. 55-64, 2012.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. Soil Biology & Biochemistry, Oxford, v. 25, n. 10, p. 1351- 1361, 1993.

ESTOQUES DE C E N E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS DO PARQUE NACIONAL DE ITATIAIA, RJ

Data de aceite: 01/04/2024

João Pedro Coumendouros Scott
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Luciele Hilda da Silva Miranda
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Matheus da Silva de Carvalho
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Melania Merlo Ziviani
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

Lúcia Helena Cunha dos Anjos
Professora do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O maior estoque de carbono terrestre está nos solos, fato que ressalta a importância do monitoramento desses estoques como ferramenta no combate e prevenção das mudanças climáticas. Particularmente, áreas montanhosas apresentam grande potencial de estoque e sequestro de carbono no solo. O estudo das frações de carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (Coam) tem papel fundamental na compreensão desses estoques. O COp representa a fração de menor estabilidade e mais sujeita a mudanças, e o COam representa a fração mais transformada e mais protegida, devido à associação aos minerais do solo. Porém, essas áreas enfrentam frequente pressão devido às ações antrópicas, sendo o Parque Nacional de Itatiaia (PNI) um exemplo. O estudo teve como objetivo analisar quatro perfis de Cambissolos localizados no PNI, identificados como: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHdsapro); Cambissolo Hístico Distrófico típico (CHdtipico3); Cambissolo Hístico Distrófico típico (CIdtipico1); e Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXbdtipico1), para estudar a dinâmica dos teores e estoques de nitrogênio (N), carbono total (CT), COp e COam. Os conteúdos de COp foram superiores aos de Coam. O COp se destacou nos horizontes de constituição orgânica (O), enquanto o COam se destacou nos de horizontes constituição mineral (A). Conclui-se que o predomínio da fração mais lábil (COp) nos horizontes

superficiais indica a maior suscetibilidade e fragilidade desses ambientes, diante da ação do homem e das mudanças climáticas.
PALAVRAS-CHAVE: cambisols, hisstic horizon, organic carbon associated with minerals, particulate organic carbon, itatiaia national park.

CARBON AND NITROGEN AND SOIL ORGANIC MATTER FRACTIONS STOCKS IN SOILS FROM ITATIAIA NATIONAL PARK

ABSTRACT: The largest terrestrial carbon stock is in soils, a fact that highlights the importance of monitoring these stocks as a tool for combating and preventing climate change. Particularly, mountainous areas have great potential for storing and sequestering carbon in the soil. The study of the fractions of particulate organic carbon (COp) and organic carbon associated with minerals (Coam) plays a fundamental role in understanding these stocks. COp represents the fraction with the least stability and most subject to change, and COam represents the most transformed and most protected fraction, due to its association with soil minerals. However, these areas face frequent pressure due to human actions, with Itatiaia National Park (PNI) being an example. The study aimed to analyze four Cambissolo profiles located in the PNI, identified as: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHdsapro); Cambissolo Hístico Distrófico típico (CHdtipico3); Cambissolo Hístico Distrófico típico (Cldtipico1); e Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXbdtipico1), to study the dynamics of the contents and stocks of nitrogen (N), total carbon (TC), COp and COam. The COp contents were higher than those of Coam. COp stood out in horizons with organic constitution (O), while COam stood out in horizons with mineral constitution (A). It is concluded that the predominance of the most labile fraction (COp) in the surface horizons indicates the greater susceptibility and fragility of these environments, in the face of human action and climate change.
KEYWORDS: Inceptisol, histic horizon, organic carbon associated with minerals, particulate organic carbon, itatiaia national park.

INTRODUÇÃO

Na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima realizada em Copenhage, Dinamarca, 2009, foi realizado um acordo entre 117 países e entidades internacionais tendo como meta o monitoramento dos estoques de carbono dos países em desenvolvimento, como o Brasil, com a intenção de combate e prevenção às mudanças climáticas (UNFCCC, 2009). Os solos constituem o maior estoque de carbono terrestre (FAO, 2022) possuindo potencial para contribuir com quatro dos objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Organização das Nações Unidas. Dois destes objetivos são a ação contra a mudança global do clima (Objetivo 13) e proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres (Objetivo 15).

Particularmente, ambientes montanhosos que correspondem a áreas de grande diversidade e potencial de estoque e sequestro de carbono estão cada vez mais sob pressão, devido ao uso indevido e à competição por terras disponíveis para agricultura, em

virtude de suas limitações (FAO, 2015). Nesta situação, destaca-se o Parque Nacional de Itatiaia (PNI), um ambiente montanhoso com baixas temperaturas, fornecendo ambiente propicio à formação de Cambissolos com horizontes de alto acúmulo de matéria orgânica (O hísticos e A húmicos), devido às condições que favorecem a preservação da matéria orgânica do solo (BARBOSA et al., 2018). O carbono orgânico presente no solo pode ser estratificado com o emprego do fracionamento granulométrico, obtendo-se o carbono orgânico particulado (COp), correspondendo à fração mais facilmente modificável, e à associada aos minerais (COam), em estágio mais avançado de transformação e mais estável (CAMBARDELLA;ELLIOT, 1992). A análise da distribuição do carbono orgânico e suas frações pode funcionar como um indicador das modificações que uma área está sendo submetida.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo a avaliação dos estoques de carbono e nitrogênio totais do solo e das frações orgânicas da matéria orgânica do solo (MOS) de Cambissolos no PNI, e fornecer informações sobre a fragilidade destes ambientes frente às mudanças climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os solos estudados foram coletados no PNI (23K, 531658/ 7528456 UTM Datum WGS 84), e classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2018). Maiores informações sobre as características dos solos podem ser encontradas em Costa (2019). No total, foram avaliados 4 perfis de Cambissolos, sendo classificados nas subordens Hístico, Húmico e Háplico. Tais perfis foram identificados como: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHdsapro); Cambissolo Hístico Distrófico típico (CHdtipico3); Cambissolo Hístico Distrófico típico (Cldtipico1); e Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXbdtipico1) (Costa, 2019).

Após a descrição e coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2,00 mm de diâmetro de malha, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi utilizada para realizar o fracionamento granulométrico da MOS, obtendo-se assim as frações COp (carbono orgânico particulado) e COam (carbono orgânico associado aos minerais), de acordo com o método proposto por e Cambardella e Elliot (1992). Os valores de carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e densidade do solo (Ds) foram extraídos de Costa (2019). O cálculo dos estoques foi realizado através do método proposto por Bernoux et al. (1998), a partir da multiplicação entre os valores das variáveis (NT, CT, COp e COam) (g kg^{-1}), Ds (Mg m^{-3}) do horizonte, e a espessura do horizonte (m), em megagrama por hectare (Mg ha^{-1}).

Os resultados foram avaliados através do software estatístico C2 (JUGGINS, 2007), para gerar representações gráficas dos perfis, facilitando a visualização dos estoques, de acordo com os horizontes e a profundidade dos perfis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, observou-se maiores valores dos teores de NT, CT, COp e Coam, nos horizontes superficiais (Tabela 1). O teor de N foi verificado em maiores valores nos horizontes superficiais, com diminuição gradual do seu valor, em profundidade. Em relação ao CT, observou-se maiores valores nos horizontes superficiais, com destaque para os horizontes de constituição orgânica. Quanto ao fracionamento granulométrico da MOS, os maiores valores da fração COp foram registrados nos horizontes de constituição orgânica, enquanto o COam predominou nos horizontes minerais (A).

Foi observado em relação aos estoques, que em todos os perfis os estoques de CT foram maiores que de N (Figuras 1 e 2). Para o estoque de CT, os maiores valores foram verificados nos horizontes superficiais de constituição orgânica, com exceção do perfil CIdtipico1. Com relação às frações de carbono, foi observado que os estoques de COp e COam são inversamente proporcionais. Nos horizontes de constituição orgânica, a fração COp predominou, enquanto COam assumiu a maior proporção nos horizontes minerais.

Tabela 1: Conteúdos de Nitrogênio e Carbono Totais (NT e CT, respectivamente) e das frações Carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) dos perfis Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHdsapro); Cambissolo Hístico Distrófico típico (CHdtipico3); Cambissolo Hístico Distrófico típico (Cldtipico1); e Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXbdtipico1)

SiBCS	Horizonte	NT	CT	COp	COam
		g kg^{-1}			
CHdsapro	O	6,50	112,2	45,53	66,67
CHdsapro	A1	3,10	53,00	37,85	15,15
CHdsapro	A2	4,20	62,6	24,76	37,84
CHdsapro	Bi	0,50	26,1	8,08	18,02
CHdsapro	Bcr	0,60	6,6	4,65	1,95
CHdtipico3	O	4,50	84,5	67,94	16,56
CHdtipico3	A1	2,40	47,9	6,18	41,72
CHdtipico3	A2	2,00	41,1	5,34	35,76
CHdtipico3	AB	0,90	18,6	2,65	15,95
CHdtipico3	Bi	0,50	8,9	1,65	7,25
Cldtipico1	O	7,50	86,00	50,04	35,96
Cldtipico1	A1	6,70	75,50	27,67	47,83
Cldtipico1	A2	5,50	63,70	22,58	41,12
Cldtipico1	A3	3,90	48,30	9,56	38,74
Cldtipico1	Bi	1,70	22,00	3,15	18,85
Cldtipico1	BC	1,00	13,40	1,67	11,73
CXbdtipico1	O	9,70	127,30	74,23	53,07
CXbdtipico1	Bi1	4,40	59,60	16,08	43,52
CXbdtipico1	Bi2	2,60	37,00	2,63	34,37
CXbdtipico1	Cr	1,20	16,60	1,99	14,61

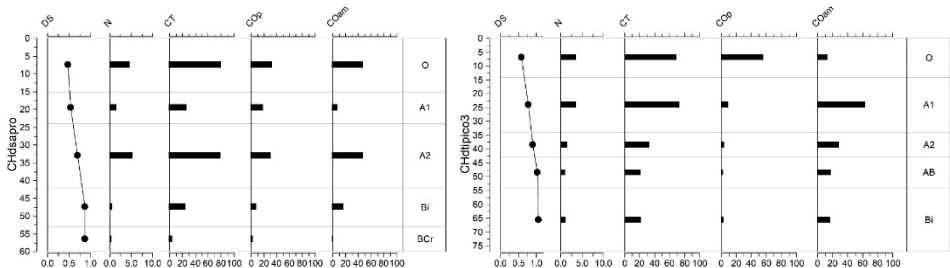



Figura 1: Densidade do solo (Ds), estoque de nitrogênio (N), estoque de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais representados nos perfis de acordo com seus horizontes e profundidades. Sendo os perfis: Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico (CHdsapro) e Cambissolo Hístico Distrófico típico (CHdtipico3).

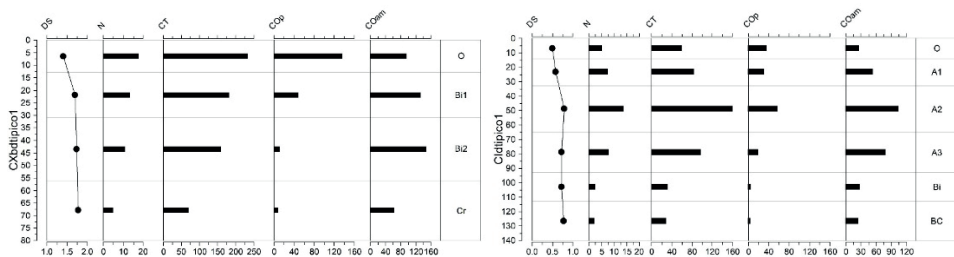



Figura 2: Densidade do solo (Ds), estoque de nitrogênio (N), estoque de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais representados nos perfis de acordo com seus horizontes e profundidades. Sendo os perfis: Cambissolo Hístico Distrófico típico (CIdtipico1) e Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (CXbdtipico1).

De maneira geral, os maiores valores de estoques de CT e N foram quantificados nos horizontes de maior espessura (Tabela 1). A espessura está diretamente relacionada ao cálculo dos estoques, fazendo com que os horizontes mais espessos possuam valores mais elevados.

Em relação a soma dos estoques dos horizontes de cada perfil, COam apresentou maior valor que COp, sendo exceção a esse padrão o perfil CIdtipico3. No perfil CXbdtipico1, foram verificados os maiores valores para todos os atributos avaliados, com os valores mais altos de CT (233,80 Mg ha^{-1}), N (17,82 Mg ha^{-1}) e COp (136,33 Mg ha^{-1}) no horizonte O, e a fração Coam no horizonte Bi2 (149,28 Mg ha^{-1}). Com relação aos valores dos estoques nos perfis, como um todo, os maiores valores foram todos observados no perfil CXbdtipico1, com os valores de N, CT, COp e COam 47,70; 647,85; 205,43 e 442,42 Mg ha^{-1}, respectivamente.

A diferença dos resultados encontrados para os estoques de COp e COam pode ser explicada pela natureza das duas frações. O COam é a fração que se associa às partículas de silte e argila, sendo mais estável devido à proteção coloidal exercida pelos minerais. Já o COp é a fração orgânica que assume tamanho de areia do solo, sendo menos estável,

e estando relacionada à recente deposição de material orgânico no solo (LAVALLE et al., 2020; CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992; ROSSI et al., 2012).

Os estoques de nitrogênio, carbono e das frações da MOS quantificados nestes solos atesta a importância destes ambientes como armazenadores de carbono, e os altos valores de estoque da fração menos protegida (COp) nos horizontes mais superficiais destaca a fragilidade destes ecossistemas. Os resultados obtidos demonstram a importância e necessidade do monitoramento dos estoques de carbono e da manutenção de ambientes como estes, para a diminuição da liberação de carbono para a atmosfera, e dessa forma auxiliar no combate contra as mudanças climáticas globais, contribuindo para a preservação de ecossistemas únicos e biodiversos.

CONCLUSÕES

Os valores dos estoques de nitrogênio e das frações de carbono orgânico em Cambissolos no Parque Nacional de Itatiaia destacam a importância desse ambiente no que se refere ao sequestro e armazenamento de carbono. Isso ressalta a importância da conservação dessas áreas, para alinhar com os objetivos propostos pela ONU, em relação ao desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da CAPES; CNPq, FAPERJ, PPGA-CS, UFRRJ e do Parque Nacional de Itatiaia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, A, S., SANTOS, G. B., DIAS, E. S., SIQUEIRA, E, S., SILVA, J. R., BARBOSA, V. D. Principais fatores condicionantes da formação e implicações para uso de Cambissolos em São Desidério, Oeste da Bahia. Revista Espinhaço, 2018.

BERNOUX, M., ARROUAYS, D., CERRI, C., VOLKOFF, B., JOLIVET, C., 1998. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties.SoilScience Society of America Journal,62(3), 743–749.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, v. 56, p. 449-457, 1992.

COSTA, E.M. **Caracterização de solos e avaliação da vulnerabilidade de ambientes no parque nacional de Itatiaia, Brasil**. 2019. 137 p. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de janeiro, 2019.

JUGGINS, S. C2 Version 1.5 User Guide. Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualisation. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK, p. 73, 2007.

LAVALLEE, J.M.; SOONG, J.L.; COTRUFO, M.F. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. **Global Change Biology**, v. 26, p. 261-273, 2020.

Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009. Addendum. Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its fifteenth session. Copenhagen: United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Conference of the Parties (COP), 2009-. Disponivel em: < https://unfccc.int/documents/6103 >. Acesso em: 2 nov. 2022

ROSSI, C.Q. et al. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

Technical report Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map. Rome: Food and Agricultura Organization (FAO), 2022-. ISBN 978-92-5-135897-9. Disponivel em: < doi.org/10.4060/cb9002en >. Acesso em: 3 nov. 2023.

Understanding Mountain Soils: A contribution from mountain areas to the International Year of Soils 2015. Itália, Roma: Food and Agriculture Organization (FAO), 2015-. ISBN 978-92-5-108804-3. Disponivel em: < https://www.fao.org/3/i4704e/i4704e.pdf >. Acesso em: 3 nov. 2023

CAPÍTULO 31

ADSORÇÃO DE CHUMBO EM CAMA DE FRANGO COM ADIÇÃO DE BIOCARVÃO

Data de aceite: 01/04/2024

Julio Cesar Francisco Ferreira de Araujo Junior
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciências do Solo (PPGACS- UFRRJ)

Fernando José Ferreira
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciências do Solo (PPGACS- UFRRJ)

Farley Alexandre da Fonseca Breda
Pós doutorando FAPERJ/ PPGA-CS (UFRRJ)

Erica Souto Abreu Lima
Professora do Departamento de Solos (UFRRJ)

Camila da Costa Barros de Souza
Pós doutoranda FAPERJ/ PPGA- CS (UFRRJ)

Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho
Professor do Departamento de Agrotecnologias e Sustentabilidade (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da adição de diferentes doses de biocarvão na adsorção do chumbo (Pb) no resíduo de cama de frango. A cama de frango utilizada no experimento é proveniente de granjas localizadas no município de São José do Vale do Rio Preto. O biocarvão foi preparado a partir de carvão vegetal comercial produzido de madeira de eucalipto, seco em estufa de circulação forçada de ar e finamente moído em moinho de bolas. O biocarvão foi adicionado à cama de aviário em relação ao seu peso seco nas proporções de 0% (controle) e 10%. O processo de adsorção foi avaliado através do Método Batch de Laboratório adaptado, com concentrações crescentes de $Pb(NO_3)_2$. Os extratos foram analisados por espectrometria de absorção atômica e em seguida foi utilizado o programa IsoFit versão 1.2 para a seleção do modelo mais adequado para descrever a adsorção de Pb na cama de frango. Para comparação do ajuste dos modelos, foram analisados o Critério de Informação de Akaike Corrigido (AICc), Variação de AICc (ΔAICc) e a Ponderação de AICc (AICcw). A adição do biocarvão na cama de frango aumentou a adsorção do Pb pelo resíduo, sendo possível concluir que o biocarvão, por possuir elevada CTC, superfície porosa e alta densidade de grupamentos funcionais de superfície aumenta a afinidade desse metal com o resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: biossorção, contaminação ambiental, metais pesados.

ADSORPTION OF LEAD IN CHICKEN LITTER WITH THE ADDITION OF BIOCHAR

ABSTRACT: The objective of the present work was to evaluate the effects of adding different doses of biochar on lead adsorption in chicken litter waste. The chicken litter used in the experiment comes from farms located in the municipality of São José do Vale do Rio Preto. The biochar was prepared from commercial charcoal produced from eucalyptus wood, dried in a forced air circulation oven and finely ground in a ball mill. Biochar was added to poultry litter in relation to its dry weight in proportions of 0% (control) and 10%. The adsorption process was evaluated using the adapted Laboratory Batch Method, with increasing concentrations of $Pb(NO_3)_2$. The extracts were analyzed by atomic absorption spectrometry and then the IsoFit version 1.2 program was used to select the most appropriate model to describe the adsorption of Pb in chicken litter. To compare the fit of the models, the Corrected Akaike Information Criterion (AICc), AICc Variation (ΔAICc) and AICc Weighting (AICcw) were analyzed. The addition of biochar to chicken litter increased the adsorption of Pb by the residue, making it possible to conclude that biochar, due to its high CTC, porous surface and high density of surface functional groups, increases the affinity of this metal with the residue.
KEYWORDS: biosorption, environmental contamination, heavy metals.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de carne de frango do mundo (AVISITE, 2021). Devido a essa crescente produção, têm sido geradas quantidades elevadas de resíduos, sendo a cama de frango o resíduo avícola produzido em maior quantidade. A cama de frango é formada pela combinação de penas de aves, ração desperdiçada, forração do piso das granjas e outros resíduos da criação das aves como produtos veterinários (HAHN, 2004). Por possuir elevado nível de macro e micronutrientes, além de baixo custo, esse material é amplamente utilizado como fertilizante orgânico (BHERING et al., 2017).

Entretanto, a aplicação da cama de frango não tratada na agricultura pode gerar impactos como a contaminação por metais pesados, levando a um acúmulo desses elementos nas camadas mais superficiais do solo, consequentemente causando a contaminação de mananciais e alimentos produzidos (KPOMBLEKOU-A; MORTLEY, 2016), o que favorece a entrada desses metais na cadeia trófica.

Alguns metais pesados, como o Cu, Zn, Fe e Mn são adicionados deliberadamente na alimentação dos frangos como promotores de crescimento. Entretanto, outros metais pesados, como o Pb, podem ser adicionados de forma involuntária na ração através de impurezas presentes nos ingredientes utilizados no seu preparo e através de medicamentos adicionados na mesma (SAGER, 2007). Nesse cenário, o Pb destaca-se por não desempenhar funções biológicas, ser um elemento tóxico aos seres vivos, que se acumula no organismo (MOREIRA;MOREIRA, 2004).

Assim, torna-se necessário propor alternativas de tratamento prévio desse resíduo à sua utilização como adubo orgânico na agricultura. A utilização do biocarvão associado à cama de frango previamente à sua aplicação na agricultura pode favorecer a adsorção de metais pesados pelo biocarvão possuir elevada capacidade de troca catiônica (CTC), elevada superfície específica e grande densidade de grupamentos funcionais oxigenados em sua superfície (ZONG et al., 2021).

Dessa forma, avaliar o efeito da adição do biocarvão no processo de adsorção do Pb à cama de frango contribui para uma aplicação segura desse resíduo orgânico na agricultura e para a segurança alimentar. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o processo de adsorção do Pb à cama de frango tratada com as doses de 0% e 10% de biocarvão, mediante a seleção de modelos de isotermas para descrever o fenômeno de adsorção.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do ensaio de adsorção foi utilizada cama de frango oriunda de granjas localizadas no município de São José do Vale do Rio Preto, Rio de Janeiro. O biocarvão foi preparado a partir de carvão vegetal comercial produzido de madeira de eucalipto, seco em estufa de circulação forçada de ar e finamente moído em moinho de bolas. O biocarvão foi adicionado à cama de aviário em relação ao seu peso seco nas proporções de 0% (controle) e 10%.

O ensaio de adsorção foi realizado através de uma adaptação do método de batelada proposto por Harter e Naidu (2001). Para a realização da análise, foi utilizado 0,5 g de amostra pesadas e posteriormente transferidas para tubos falcon. Foram adicionados 20 ml de solução com concentrações crescentes do metal de interesse (Pb): 0; 30; 60; 120; 200; 280 e 360 mg L^{-1} de $Pb(NO_3)_2$. Os extratos obtidos foram analisados através de espectrometria de absorção atômica marca Variam SpectrAA 55B, no Departamento de Solos na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), para determinação dos teores de Pb.

Para escolha do modelo mais adequado para descrever a adsorção de Pb na cama de frango foram utilizados parâmetros de oito equações isotérmicas através do software IsoFit versão 1.2 (MATTOT;RABIDEAU, 2008), sendo elas: Isoterma BET; Isoterma de Freundlich; Freundlich com Particionamento Linear – FP; Isoterma de Langmuir; Isoterma de Langmuir – Freundlich (LF); Langmuir com Particionamento Linear – LP; Isoterma Linear; Isoterma Toth.

Após a comparação dos modelos de adsorção, foram selecionados os mais adequados para o metal através do coeficiente de determinação (R^2), Critério de Informação de Akaike Corrigido (AICc), Variação de AICc (ΔAICc) e Ponderação de AICcw (AICcw), fornecidos pelo IsoFit.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores de R², AICc, AICw e ΔAICc para os oito modelos de isotermas calculados pelo software IsoFit. Os valores foram os critérios utilizados para a seleção dos melhores modelos de adsorção de Pb. Observa-se que os valores de R^2 não expressaram diferenças entre os modelos para ambos os tratamentos, portanto o uso desse parâmetro para seleção de modelos de adsorção não apresentou um bom desempenho.

Considerando os valores de AICc, o modelo Linear e o de Langmuir com Particionamento Linear foram os que apresentaram menor valor para o tratamento de 0% e o modelo de Langmuir para o tratamento 10%. De acordo com BURNHAM;ANDERSON (2004), o modelo que apresentar menor valor de AICc pode ser considerado como mais adequado para representar a adsorção dos metais nos solos, levando em consideração que o menor valor desse critério representa maior proximidade da realidade por ser uma medida de aproximação entre o modelo verdadeiro e o modelo calculado.

Tabela 1: Modelos de isotermas de adsorção do Pb dado pelo IsoFit para a cama de frango não compostada com a adição de biocarvão.

Teor de *biochar*		**BET**	**Freundlich**	**Freundlich-Partition**	**Langmuir**	**Langmuir-Freundlich**	**Langmuir-Partition**	**Linear**	**Toth**
0%	R2	0,650	0,650	0,650	0,648	0,797	0,650	**0,650**	0,650
	AICc	98,475	89,987	109,987	90,015	107,109	**83,320**	**83,320**	109,987
	AICw	0,000	0,017	0,000	0,017	0,000	**0,483**	**0,483**	0,000
	ΔAICc	15,155	6,667	26,667	6,695	23,789	**0,000**	**0,000**	26,667
10%	R2	0,902	0,952	0,952	**0,973**	0,994	0,972	0,902	0,947
	AICc	98,286	79,546	99,550	**76,712**	92,325	96,773	79,011	102,682
	AICw	0,000	0,155	0,000	**0,641**	0,000	0,000	0,203	0,000
	ΔAICc	21,574	2,834	22,838	**0,000**	15,612	20,061	2,299	25,969

Os critérios complementares ΔAIC e AICw foram utilizados para avaliar a probabilidade de acerto na escolha do modelo. Através do AICw foi possível observar o peso de cada um dos modelos para representar as isotermas de adsorção. Assim, os critérios ΔAIC e AICw corroboraram com a seleção dos modelos Linear e Langmuir com Particionamento Linear para descrever a adsorção do Pb à cama de frango sem adição de biocarvão (0%), e do modelo de Langmuir para descrever a adsorção à cama de frango com 10% de biocarvão.

Na Figura 1 é apresentado o comportamento das isotermas de adsorção do Pb à cama de frango com 0% e 10% de biocarvão. Observa-se que a adição de biocarvão aumentou a afinidade do metal pelo adsorvente mudando o comportamento das isotermas, explicando assim a seleção de modelos distintos quanto à adsorção do metal ao resíduo com diferentes doses de biocarvão. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros gerados pelo software IsoFit para os modelos que melhor se ajustaram para os estudos de adsorção do Pb em cama de frango com adição de 0 e 10% de biocarvão.

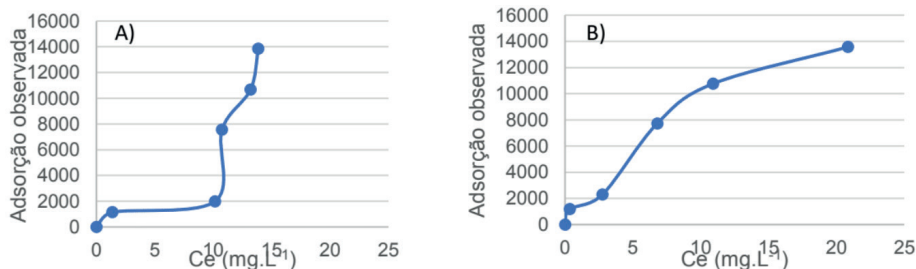



Figura 1: Isotermas de adsorção de Pb em cama de frango não compostada com adição de biocarvão a 0% (A), 10% (B).

Tabela 2: Parâmetros de isotermas de Pb gerados pelo IsoFit para a cama de frango com a adição de biocarvão.

Biocarvão	Langmuir com Particionamento Linear			Linear	Langmuir	
	Kp	Q0	b	Kd	Qmax (mg Kg^{-1})	b
0%	743,14	0,00070	0,00000009	743,16		
10%					24552,30	0,063

Na Figura 1A é apresentada uma curva do tipo S, que segundo SPOSITO (2008), é caracterizada por possuir uma pequena inclinação inicial que tende a aumentar de acordo com a concentração do adsorbato. Esse padrão sugere que em baixas concentrações, ocorre baixa afinidade do adsorbato pelo adsorvente e uma elevada afinidade pelo ligante solúvel. Entretanto, é possível observar na Figura 1B que a adição de biocarvão aumenta a afinidade do metal pelo adsorvente nas concentrações mais baixas, fazendo com que o metal presente na solução possivelmente esteja formando complexos com a cama de frango através de ligações covalentes, reduzindo assim a mobilidade e biodisponibilidade de Pb. O biocarvão possui elevada capacidade de troca catiônica e elevada superfície específica auxiliando na adsorção de contaminantes orgânicos e inorgânicos em sua superfície, o que reduz a mobilidade de poluentes em solos contaminados (BEESLEY et al., 2011).

CONCLUSÕES

A adição de biocarvão promoveu mudanças na adsorção de Pb aumentando da afinidade do metal pelo adsorvente. Essa característica pode influenciar na redução da mobilidade e biodisponibilidade do Pb para a solução do solo. Dessa forma, a adição do biocavão à cama de frango previamente à sua aplicação agrícola apresenta um potencial de redução da contaminação de Pb e do risco de entrada na cadeia trófica.

AGRADECIMENTOS

A todos do laboratório de Química e Poluição do Solo por auxiliar nas análises e neste trabalho. A CAPES, CNPq e FAPERJ por apoiar e fomentar a iniciação científica, dos alunos da graduação, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia- Ciência do Solo (PPGA-CS).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVISITE: O portal da avicultura. **Notícias.** 2021. Disponível em: https://www.avisite.com.br/index.php?page=noticias&id=24379. Acesso em: 08 out. 2023.

BEESLEY, L., & MARMIROLI, M. **The immobilization and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar.** Environmental Pollution, Vol. 159(2), pp. 474-480, 2011.

BHERING, A. S.; CARMO, M. G. F.; MATOS, T. S.; LIMA, E. S. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. **Soil factors related to the severity of clubroot in Rio de Janeiro, Brazil**. Plant Disease, v. 101, n. 8, p. 1345–1353, 2017.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection**. Sociological Methods and Research. Beverly Hills, v.33, n.02, p.261-304, 2004.

HAHN, L. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas.** Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, 2004. 130 p. (Dissertação Mestrado).

HARTER, R. D.; NAIDU, R. An assessment of environmental and solution parameter impact on trace-metal sorption by soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 3, p. 597-612, 2001.

KPOMBLEKOU-A, K.; MORTLEY, D. **Organic Fertilizers in Alabama: Composition, Transformations, and Crop Response in Selected Soils of the Southeast United States**. ORGANIC FERTILIZERS, p. 25, 2016.

MATTOT, L. S.; RABIDEAU, A. J. ISOFIT - **A program for fitting sorption isotherms to experimental data**. Environmental Modelling & Software, v.23, p.670-676, 2008.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. **Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde**. Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health, v.15, n.2, 2004.

SAGER, M. **Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria.** Soil Biology and Biochemistry, v. 39, p. 1383-1390, 2007.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. Second edition. 344 p. 2008.

ZONG, Y.T., XIAO, Q., LU, S.G., 2021. **Biochar derived from cadmium-contaminated ricestraw at various pyrolysis temperatures: cadmium immobilization mechanisms andenvironmental implication.**Bioresour. Technol. 321, 124459.

CAPÍTULO 32

PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA NA MICROBACIA DA JANELA DAS ANDORINHAS, NOVA FRIBURGO (RJ)

Data de aceite: 01/04/2024

Kauky Mc Lean de Faria Santos
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Renato Sinquini de Souza
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciência do solo (UFRRJ)

Amanda Sales Alves
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciência do solo (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: Na região de Nova Friburgo (RJ) verifica-se o predomínio de um relevo acidentado, que influencia tanto na gênese do solo quanto nos processos erosivos. Com o objetivo de obter informações sobre a influência do fator relevo nos processos pedogenéticos e nas propriedades morfológicas de perfis de solo, foi selecionada uma topossequência, representativa da região na microbacia Janela das Andorinhas, descrevendo perfis em cinco pontos da paisagem a saber: topo da encosta (P5), terço superior (P4), terço médio (P2 e P3) e terço inferior (P1). Os perfis foram descritos e realizada a caracterização morfológica. De maneira geral, os horizontes superficiais apresentaram coloração escura, estrutura granular de tamanho pequeno e grau de desenvolvimento variando de moderado a forte, consistência ligeiramente dura, friável e muito friável, não pegajoso e não plástica. Já nos horizontes de subsuperfície foi verificada variação na cor de vermelho (P1, P4 e P5) a preto (P2 e P3), estrutura de blocos subangulares de tamanho pequeno e grau de desenvolvimento moderado, consistência seca variando de ligeiramente dura a macia, úmida de friável a muito friável e molhada de ligeiramente plástica a plástica e pegajosa. Em todos os perfis foi possível observar a influência do relevo sobre os atributos morfológicos, confirmando a interferência desse fator na gênese do solo.

PALAVRAS-CHAVE: consistência, cor, estrutura, região serrana

MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF A TOPOSEQUENCE IN THE JANELA DAS ANDORINHAS WATERSHED, NOVA FRIBURGO (RJ)

ABSTRACT: In the region of Nova Friburgo (RJ) there is a predominance of mountainous relief, which influences both soil genesis and erosion processes. In order to obtain information on the influence of the relief factor on pedognetic processes and the soil morphological properties, a toposequence representative of the region was selected in the Janela das Andorinhas watershed, describing profiles at five points in the landscape: summit (P5), shoulder (P4), backslope (P2 and P3) and footslope (P1). The profiles were described and morphological characterization carried out. In general, the surface horizons were dark in color, had a small granular structure and a degree of development varying from moderate to strong, with a slightly hard, friable and very friable consistency, nonsticky and nonplastic. The subsurface horizons varied in color from red (P1, P4 and P5) to black (P2 and P3), with a small subangular block structure and a moderate degree of development, a dry consistency ranging from slightly hard to soft, wet from friable to very friable and wet from moderately plastic to plastic and moderately sticky. In all the profiles it was possible to observe the influence of the relief on the morphological attributes, confirming the interference of this factor in the genesis of the soil.

KEYWORDS: color, consistency, mountain region, structure

INTRODUÇÃO

A região Serrana do Rio de Janeiro, principalmente o município de Nova Friburgo, desempenha um papel significativo na produção de alimentos, com destaque a olericultura, que é favorecida pelas condições climáticas observadas na região. A produção é utilizada para o abastecimento do mercado interno e também para comercialização em outras regiões do estado.

Na região verifica-se o predomínio de um relevo acidentado, que é um dos principais fatores na intensificação dos processos erosivos. Estudos realizados por SOUZA et al. (2023) em todo estado do Rio de Janeiro, indicam que a Região Serrana é uma das mais susceptíveis a este processo.

O relevo é um dos fatores de formação que influencia significativamente na gênese dos solos em uma topossequência. Ele desempenha um papel crucial na distribuição e infiltração da água, podendo promover aumento das reações químicas do intemperismo e transporte de sólidos e materiais em solução atuando diretamente na gênese dos solos nos diferentes pontos da paisagem (SCHIAVO et al., 2010) predominando arenito de granulometria fina a média, intercalado com conglomerado arenoso. Portanto a partir dos estudos em topossequências é possível verificar a influência desse fator na pedogênese, através da análise das propriedades morfológicas de perfis (REIS et al., 2007).

Considerando a grande importância da região Serrana na produção de alimentos, o objetivo deste trabalho foi avaliar como o relevo influencia as características morfológicas

de perfis ao longo de uma topossequência, localizada na microbacia Janela das Andorinhas, Nova Friburgo (RJ).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na microbacia da Janela das Andorinhas, situada no município de Nova Friburgo, região Serrana do estado do Rio de Janeiro (Figura 1), a uma altitude média de 1069 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima de Nova Friburgo é mesotérmico brando Cfb, sempre úmido com verão ameno. A temperatura média anual é de 18,1ºC e a precipitação média anual é cerca de 2000 mm.

Após percorrer a microbacia, foi selecionada uma topossequência representativa da região de estudo. Foram abertos 5 perfis em diferentes posições da paisagem (Figura 1), a saber: P1 terço inferior, P2 e P3 terço médio, P4 no terço superior e o P5 no topo da encosta. Os horizontes foram descritos segundo (SANTOS et al., 2018).

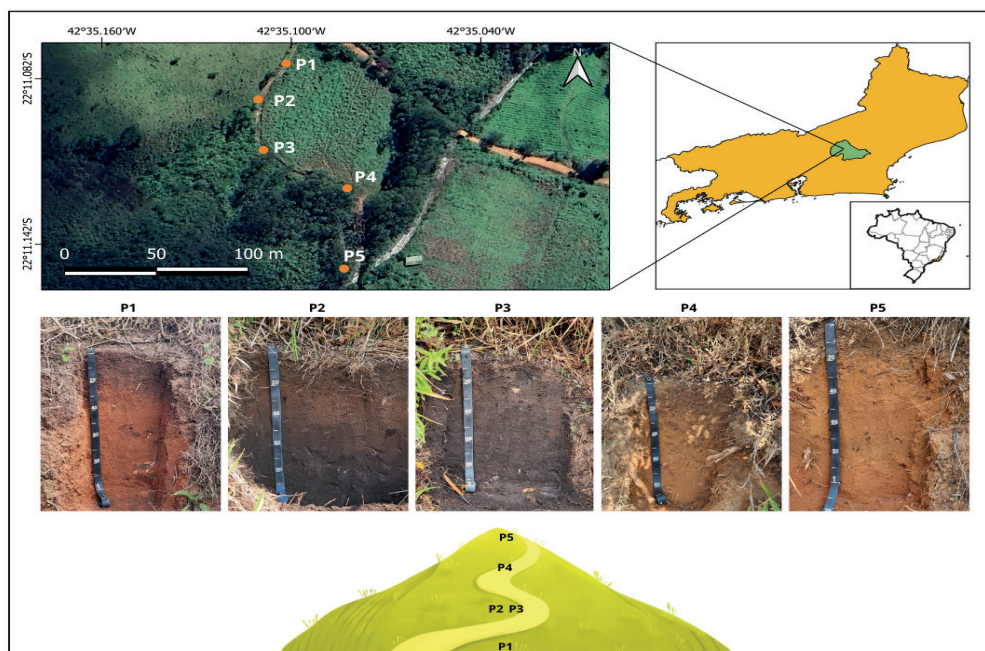



Figura 1: Localização da topossequência e fotos dos perfis. Fonte das imagens: Renato Sinquini de Souza (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos horizontes superficiais nas amostras secas foi observada uma variação do matiz, valor e croma de cinzento muito escuro 7,5YR 3/1 em P2 e P3, até bruno forte 7,5YR 5/6 no perfil 5. Já para as cores úmidas (Figura 2) a variação foi de vermelho amarelado 5YR

4/6 no perfil 5, até preto 7,5YR 2,5/1 nos perfis 2 e 3. Para os horizontes subsuperficiais os matizes variaram de 2,5YR (P5) até 7,5YR (P2). Para os perfis P2 e P3 observou-se que em todos os seus horizontes prevaleceu a cor preta e nos perfis P1, P4 e P5 nos horizontes superficiais a coloração bruno escuro e nos subsuperficiais as cores vermelho amarelado e vermelho.

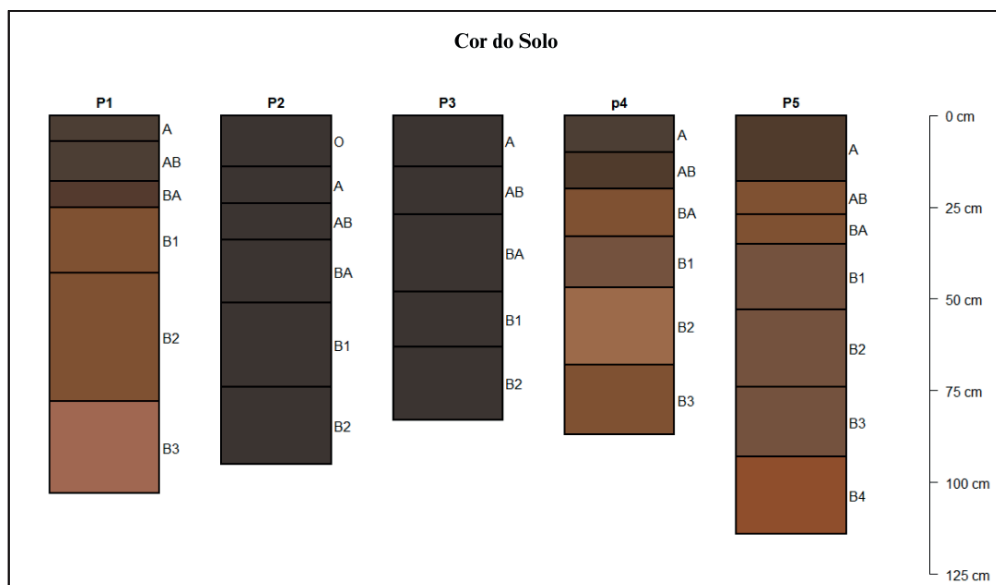



Figura 2: Representação das cores em amostras úmidas ao longo da topossequência.

As cores observadas são um reflexo da constituição dos horizontes e do perfil do solo. Os perfis (P1, P4 e P5) são de constituição mineral enquanto P2 e P3 de constituição orgânica (possuem teores de carbono orgânico maior ou igual 80 g kg^{-1} e espessura no mínimo de 40 cm (SANTOS et al., 2018) (Figura 2). Nos perfis de constituição mineral em subsuperfície foram observadas as colorações avermelhadas e amareladas, que sugerem a presença de hematita e goethita, óxidos de ferro que contribuem para o surgimento destas cores (CHAGAS et al., 2013). Já a coloração escura verificada nos perfis 2 e 3 localizados no terço médio da topossequência devem-se ao acúmulo de matéria orgânica (AUDEH et al., 2011), este acúmulo é atribuído a presença de um contato lítico (rocha) que funciona como controle da drenagem natural, contribuindo para a diminuição da velocidade de decomposição da matéria orgânica, possibilitando então a formação de horizontes e solos de constituição orgânica. Adicionalmente, a vegetação de samambaias, observada nesse ponto da paisagem, proporciona uma maior adição de matéria orgânica, contribuindo para a formação deste tipo de horizonte.

Quanto a estrutura, nos horizontes superficiais e transicionais, prevaleceu a estrutura granular de tamanho pequeno e grau de desenvolvimento variando de moderado e forte. Já nos subsuperficiais foi verificado em maior expressão a presença de blocos subangulares de tamanho pequeno e grau de desenvolvimento moderado, esse padrão também foi verificado nos estudos realizados por SCHIAVO et al. (2010).

Com relação a consistência seca, nos horizontes superficiais e subsuperficiais esta foi ligeiramente dura nos perfis 1, 3 e 4, enquanto nos perfis 2 e 5 em subsuperfície a consistência foi macia. Quando úmida a consistência nos horizontes superficiais variou de friável nos perfis 2, 3 e 5, muito friável no perfil 1 e firme no perfil 4. Já nos horizontes subsuperficiais prevaleceu em todos os perfis a consistência muito friável. No que se refere a consistência molhada, a plasticidade nos horizontes superficiais foi classificada como não plástica, salvo o perfil 4 no qual a consistência foi ligeiramente plástica. Já nos horizontes subsuperficiais a plasticidade variou de ligeiramente plástica a plástica. Quanto à a pegajosidade, nos horizontes superficiais verificou-se uma variação de não pegajosa a ligeiramente pegajosa, e apenas no perfil 4 observou-se consistência pegajosa nos horizontes superficiais. Já nos horizontes subsuperficiais a consistência variou de ligeiramente pegajosa a pegajosa em todos os perfis, com exceção ao perfil 2 no qual nos seus horizontes subsuperficiais a consistência foi não pegajosa.

CONCLUSÕES

Ao analisar os atributos morfológicos e físicos, identificou-se que o fator relevo e a composição do material de origem desempenham um papel fundamental na formação dos solos em estudo

A presença do contato lítico no terço médio da paisagem foi responsável por alterações nas características morfológicas dos perfis 2 e 3, funcionando como controle da drenagem natural e originando dois solos de constituição orgânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUDEH, S.J.S. et al. **Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico**. Revista Brasileira de Agroecologia, [S.l.], v. 6, n. 3, dec. 2011.

CHAGAS, C.D.S. et al. **Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro**. Sociedade & Natureza, *25*, 147-162, 2013.

REIS, M.S. et al. **Variações da composição granulométrica e orgânica do solo em uma topossequência da microrregião de Marabá-PA. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, v.2, n.3, p.33-44, 2007.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 5ª edição**; revisada e ampliada – Brasília, DF. Embrapa. 590p. 2018.

SCHIAVO, J.A. et al. **Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS**. Rev. Bras. Ciênc. Solo 34, 881–889, 2010.

SOUZA, R.S. et al. **Vegetation resilience prognosis: A past and future approach from hydrometeorological and remote sensing data for eight government regions of Rio de Janeiro, Brazil**. Arab J Geosci 16, 300, 2023.

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE BIOCHAR COMO CONDICIONANTE DE SOLO FRÁGIL PARA O DESENVOLVIMENTO DE RABANETE (*RAPHANUS SATIVUS*)

Data de aceite: 01/04/2024

Kimberly Christina Marques da Silva
Estudante de graduação em licenciatura em Ciências Agrícolas (UFRRJ)

Franciele de Souza Rocha
Estudante de graduação em Engenharia Florestal (UFRRJ)

Leonardo Santos da Silva
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Hellen Fernanda Oliveira da Silva
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

Andrés Calderín García
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

Danielle França de Oliveira Torchia
Pós-Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

RESUMO: O uso do biochar na agricultura tem sido uma alternativa para o melhoramento do desenvolvimento de hortaliças em solos frágeis devido suas características químicas, físicas e biológicas que promovem um melhor condicionamento do solo. A aplicação do carbono orgânico estabilizado proporciona melhorias físico-químicas no crescimento e desenvolvimento das plantas. Portanto, este estudo teve como objetivo verificar os efeitos da aplicação de biochar comercial na bioatividade do cultivo de rabanete. Para a análise experimental foi utilizado um biochar comercial e aplicadas 5 doses (0, 2, 4, 6 e 8 ton ha^{-1}), com delineamento experimental inteiramente casualizado e 3 repetições. Os resultados indicam um aumento significativo para a dose 4 ton ha^{-1} na produção de massa fresca e seca, além disso, a dose favoreceu o melhor desenvolvimento radicular e foliar devido ao enriquecimento dos nutrientes no solo. Dessa forma, verificou-se que o biochar comercial apresentou funcionalidade favoráveis na dinâmica química do material quando aplicado no solo.

PALAVRAS-CHAVE: bioatividade, carbono recalcitrante, fertilidade, solo arenoso.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF BIOCHAR AS A CONDITIONER FOR FRAGILE SOIL FOR THE DEVELOPMENT OF RADISH (*RAPHANUS SATIVUS*)

ABSTRACT: The use of biochar in agriculture has been an alternative for improving the growth of vegetables in fragile soils due to its chemical, physical, and biological characteristics that promote better soil conditioning. The application of stabilized organic carbon provides physicochemical improvements in plant growth and development. Therefore, this study aimed to assess the effects of applying commercial biochar on the bioactivity of radish cultivation. For the experimental analysis, a commercial biochar was used, and 5 doses (0, 2, 4, 6, and 8 ton ha^{-1}) were applied, with a completely randomized experimental design and 3 replications. The results indicate a significant increase for the 4 ton ha^{-1} dose in fresh and dry mass production. Furthermore, this dose favored better root and leaf development due to nutrient enrichment in the soil. Thus, it was found that commercial biochar showed favorable functionality in the chemical dynamics of the material when applied to the soil.
KEYWORDS: bioactivity, fertility, recalcitrant carbon, sandy Soil.

INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus)* é uma hortaliça de ciclo curto pertencente à família Brassicaceae. É uma excelente escolha para a agricultura familiar devido aos benefícios que oferece visto seu valor nutricional, sendo fonte de vitamina A, complexo B, cálcio, fósforo, potássio, magnésio, sódio e ferro, além disso, oferece possibilidades de retorno financeiro em curto prazo (CARDOSHIRAKI, 2001). O sucesso no cultivo do rabanete depende de um solo fértil, e essa fertilidade está ligada à qualidade da matéria orgânica presente no solo, tornando-a um fator fundamental para o crescimento e desenvolvimento desta hortaliça (FILGUEIRA, 2003).

A baixa fertilidade dos solos profundamente intemperizados está diretamente relacionada à necessidade de matéria orgânica para o fornecimento de nutrientes e o desenvolvimento do solo. Nesse contexto, o biochar destaca-se por sua estabilidade, devido ao seu carbono orgânico recalcitrante, proporcionando ao solo nutrientes essenciais para seu desenvolvimento sustentável a curto e longo prazos. Além disso, sua morfologia é principalmente definida pelo seu material de origem, apresentando melhorias químicas devido a suas propriedades hidrofílicas e hidrofóbicas. Isso não apenas modifica a disponibilidade de nutrientes e estabiliza o carbono no solo, mas também melhora as características físicas e biológicas do solo (UCHIMIYA, 2010; TORCHIA,2021).

O biochar se destaca pelo seu alto teor de carbono orgânico e pela presença rica em minerais, resultante da degradação térmica da biomassa. Esse processo, denominado pirólise, acontece em temperaturas elevadas e em condições controladas, com baixas ou nulas concentrações de oxigênio (LEHMANN, 2009). Dessa forma, os aspectos estruturais do biochar permitem que atue de acordo com suas necessidades, através de suas estruturas aromáticas e lábeis que possibilitam a absorção de nutrientes, a retenção de água e a melhoria das condições de crescimento e desenvolvimento das plantas, além de contribuir

para a estabilidade do carbono no solo. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo verificar a eficiência da aplicação de biochar comercial no desenvolvimento de rabanete (*Raphanus sativus*) em Planossolo Háplico, que possui textura arenosa.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a análise experimental foi utilizado um biochar comercial e aplicadas 5 doses (0, 2, 4, 6 e 8 ton ha^{-1}), com delineamento experimental inteiramente casualizado e 3 repetições. O biochar foi adquirido em carvoaria da região Sul Fluminense do estado do RJ. A determinação C, H, N, O foi realizado através de um analisador CHN, e os outros demais nutrientes foram digeridos através do método adaptado de USEPA 3050. Foram pesados 0,25 g da amostra de biochar e inserida em tubo de digestão. Foram adicionados 5 ml de ácido nítrico (HNO_3 P.A) em cada tudo, os quais foram inseridos no bloco digestor e permaneceram por 15 min. Outros 15 ml de ácido nítrico (HNO_3 P.A) foram adicionados às amostras, as quais foram mantidas no bloco digestor por mais 2h. Em seguida, retirou-se as amostras do tubo de digestor e foram adicionados 8 ml de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em cada amostra, avolumadas para 50 ml com água destilada e filtradas. Para a determinação de K utilizou-se um fotômetro de chama (DIGIMED DM-62) e Ca, Mg, Mn foram lidos com espectroscópio de absorção atômica (VARIAN 55B). As sementes foram desinfestadas com hipoclorito de sódio (2%), lavadas e inseridas em potes com aproximadamente 3 kg de Planossolo Háplico a 2 cm de profundidade. O solo foi adubado de acordo com a recomendação de adubação para o cultivo de rabanete no Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro (PORTZ et al., 2013). Para a quantificação da biomassa foi realizada uma coleta aos 32 dias após a semeadura (DAS). As plantas foram divididas partes aéreas e fruto, as quais foram pesadas no ato da coleta (peso da massa fresca), secos a 60 °C por 72 horas e novamente pesadas (peso da massa seca).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise elementar do biochar revela resultados de grande relevância, apresentando resultados promissores na aplicação desse material para fins agronômicos. Os dados da Tabela 1, mostram um teor elevado de 76,5% de C, isso indica um material rico em material orgânico carbonáceo, e um teor de 20,02% de O, que pode identificar uma boa quantidade de material orgânico oxidado, isto é, contribui para o sequestro de carbono no solo e para a fertilidade do solo. Essas características podem influenciar, na dinâmica química do biochar (TORCHIA et al., 2021). Além disso, as porcentagens de O, H, N são de extrema importância para entender a estrutura e a reatividade dos compostos orgânicos (SILVA et al., 2022).

Tabela 1: Composição Elementar

	N	C	H	O	K	Ca	Mg	Mn
			%				mg kg^{-1}	
Biochar	0,48	76,5	2,96	20,02	11,33	31138,00	7326,00	77,28

Botero et al. (2010) e Chen et al. (2014) relatam que essa razão C/N, H, O em um biochar está relacionada ao seu grau de aromaticidade. Conforme a temperatura aumenta, há uma redução nos teores de N, H e O e o aumento de C fixo. Isso, indica uma maior resistência à degradação e uma porosidade elevada no biochar, melhorando significativamente a aeração do solo e a retenção de água no solo. Essas características são fundamentais para o desenvolvimento saudável das plantas. Além disso, a presença de Ca, K, Mg e Mn trocáveis pode promover a fertilidade do solo. Isso ocorre devido à capacidade de trocas catiônicas do biochar, que está diretamente relacionada à sua porosidade e sua estrutura. A porosidade favorece a disponibilidade de nutrientes no solo, proporcionando um ambiente propício para o crescimento das plantas (JIN;WANG, 2013).

O teste de bioatividade (Figura 1) mostra que os valores da massa fresca da raiz diferem-se pela dose 4 ton ha^{-1}, já da parte aérea não houve resultados significativos. Costa et al. (2006) também notaram que os resultados referentes à massa aérea em função de diferentes doses (0, 15, 30 e 45 ton ha^{-1}) de húmus de minhoca e esterco bovino, não demonstraram significância estatística. Isso ocorreu devido a uma redução na relação entre a massa das folhas, indicando um redirecionamento dos compostos fotossintetizados para as raízes das plantas.

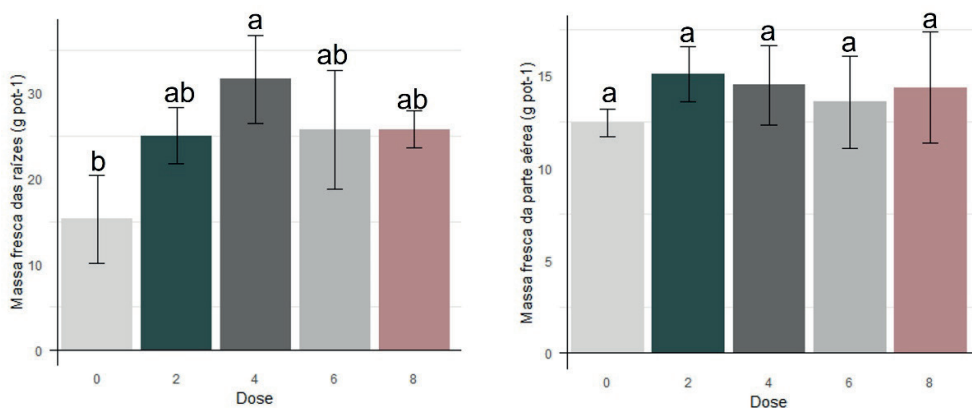



Figura 1: Massa Fresca de raízes e parte aérea de plantas de rabanete em diferentes doses de biochar. Barras com a mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nos valores de massa seca (Figura 2) verifica-se que a dose maior de 8 ton ha^{-1} obteve melhores resultados na massa seca da raiz, porém na massa seca da parte aérea há uma redução em comparação a maior dose e um resultado significativo para dose 4 ton ha^{-1} tanto na raiz quanto na parte aérea. O aumento correspondente da parte aérea e o bom desenvolvimento da raiz, estão diretamente relacionados à disponibilidade de nutriente pelo biochar em curto prazo, considerando o aumento da concentração de cátions trocáveis como cálcio e magnésio, porém a baixa concentração de potássio pelo biochar influência na limitação do crescimento da planta. Além disso, o excesso de outros nutrientes em doses superiores também pode limitar o desenvolvimento da planta, resultando em um ponto de produção máxima (SOUSA, 2015).

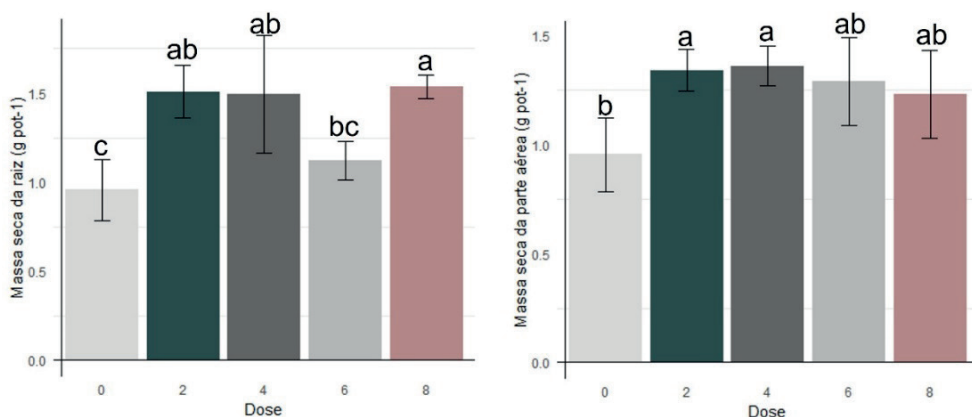



Figura 2: Massa seca de raízes e parte aérea de plantas de rabanete em diferentes doses de biochar. Barras com a mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$)

Os dados estatísticos revelam um resultado positivo do efeito das doses de biochar em relação a massa das raízes, tanto secas quanto frescas apresentaram resultados significativos comparados a parte aérea. SOUSA (2015) observou efeito semelhantes do biochar de lodo de esgoto em relação a produtividade do tubérculo de rabanetes em doses de 20 e 40 ton ha^{-1}, isto é, devido ao elevado teor de nutrientes essenciais para planta em função da composição orgânica pelo material.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a aplicação de biochar comercial, principalmente para a dose 4 ton ha^{-1}, proporcionou um melhor desenvolvimento radicular e foliar de rabanete, cultivados em Planossolo Háplico arenoso. Isso indica que doses baixas de biochar já são suficientes para, em curto prazo, mudar as condições de um solo frágil arenoso e beneficiar o desenvolvimento vegetal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Química Biológica do solo, ao PPGA-CS e à UFRRJ. Também agradecemos às agências de fomento CAPES, FAPERJ e CNPQ pela disponibilização de recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOTERO, Wander Gustavo. **Substâncias húmicas: interações com nutrientes e contaminantes.** 2010. 75 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, 2010.

CARDOSO, A.I.I.; HIRAKI, H**. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 19, n. 3, p. 196-199, novembro 2001.

CHEN, T.; ZHANG, Y.; WANG, H.; LU, W.; ZEYU, Z.; ZHANG, Y.; REN, L. **Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge.** Bioresource Technology, (2014) 164: 47 – 54.

COSTA, C. C.; OLIVEIRA, C. D.; SILVA, C. J.; TIMOSSI, P. C.; LEITE, I. C. **Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos.** Horticultura Brasileira, 24, p. 118-122, 2006.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa-MG: UFV, p. 290, 2003.

JIEN, S. H.; WANG, C. S. **Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil.** Catena, v.110, p. 225-233, 2013.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.) **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**, Earthscan, London, pp. 1-12, 2009.

SILVA, Ricardo Rafaell da. **Produção e caracterização de biocarvão por pirólise de biomassa de casca de mandioca: avaliação com nutriente e contaminante.** 2023. 85 f. Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia, Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

SOUSA, A. A. T. C. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete.** Dissertação.Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015.

TORCHIA et. al. **Production and characterization of biochar obtained from diferent biomass and pyrolysis temperature.** Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 39, p. 415-427, 2021.

UCHIMIYA, M.; LIMA, I.M.; KLASSON, K.T.; WARTELLE, L.H. **Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: roles of natural organic matter**. Chemosphere, v. 80, n. 8, p. 935–40, 2010.

CAPÍTULO 34

EFEITO DE BORDA NAS FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FRAGMENTOS DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL

Data de aceite: 01/04/2024

Kyegla Beatriz da Silva Martins
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (UFLA)

Francielle da Silva Lopes
Graduada em Engenharia Florestal (UESB)

Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia
Professor do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (UESB)

Paulo Henrique Marques Monroe
Pós-Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (UESB)

Alessandro de Paula
Professor do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (UESB)

Márcio Renato Nunes
Professor do Department of Soil, Water, and Ecosystem Sciences (University of Florida - UF)

RESUMO: Este estudo teve como objetivo avaliar as frações do carbono orgânico do solo (COS) como indicador do efeito de borda em fragmentos de floresta Estacional Semidecidual. O estudo foi conduzido em três fragmentos de floresta Estacional Semidecidual Montana com tamanhos diferenciados (pequeno, médio e grande), localizados no município de Vitória da Conquista (BA). Três faixas de amostragem foram demarcadas em cada fragmento florestal: borda (0-10 m), transição (40-50 m) e interior (180-190, 400-410, e 500-510 m). Foram coletadas três amostras compostas (profundidade 0-10 cm) em cada faixa de amostragem. As frações do COS foram determinadas por oxidação úmida com base em graus crescentes de oxidação, determinando-se quatro frações: lábil (CL), moderadamente lábil (CML) e pouco lábil (CLL). Variações nos teores de SOC e das frações de carbono entre as faixas de amostragem foram verificadas apenas nos fragmentos menores. No fragmento de menor tamanho, observou-se redução na borda em comparação ao interior nos teores de COS e das frações CL e CML. No fragmento de tamanho médio, houve redução na borda em comparação ao interior dos teores de COS e da fração CML. As frações do carbono orgânico do solo (FCOS) mostraram-se sensíveis às mudanças provocadas pelo efeito de borda, especialmente as frações mais lábeis. O tamanho do fragmento florestal influenciou a magnitude das alterações causadas pelo

efeito de borda nas FCOS, revelando maior suscetibilidade a mudanças nos fragmentos menores.
PALAVRAS-CHAVE: carbono lábil, fracionamento químico, frações oxidáveis, fragmentação, matéria orgânica.

EDGE EFFECT ON THE FRACTIONS OF SOIL ORGANIC CARBON IN SEMIDECIDUOUS TROPICAL FRAGMENTS

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the fractions of soil organic carbon (SOC) as an indicator of edge effects in fragments of Seasonal Semideciduous Forest. The study was conducted in three fragments of Seasonal Semideciduous Montane forest with different sizes (small, medium, and large), located in the municipality of Vitória da Conquista (BA). Three sampling strips were demarcated in each forest fragment: edge (0-10 m), transition (40-50 m), and interior (180-190, 400-410, and 500-510 m). Three composite samples (depth 0-10 cm) were collected in each sampling strip. The SOC fractions were determined by wet oxidation based on increasing degrees of oxidation, determining four fractions: labile (CL), moderately labile (CML), and poorly labile (CLL). Variations in SOC content and carbon fractions among sampling strips were observed only in smaller fragments. In the smallest fragment, a reduction in edge compared to interior was observed in SOC content and CL and CML fractions. In the medium-sized fragment, there was a reduction in edge compared to interior in SOC content and CML fraction. Soil organic carbon fractions (SOCF) proved to be sensitive to changes caused by edge effects, especially the more labile fractions. The size of the forest fragment influenced the magnitude of changes caused by edge effects in SOCF, revealing greater susceptibility to changes in smaller fragments.
KEYWORDS: chemical fractionation, fragmentation, labile carbon, organic matter, oxidizable fractions.

INTRODUÇÃO

A fragmentação pode ser definida como um processo em que grandes áreas florestais são transformadas em pequenas manchas isoladas. Isso ocasiona uma série de alterações no ecossistema e em suas comunidades, que passam a apresentar características distintas daquelas encontradas no habitat original. Esse fenômeno atinge proporções significativas no Brasil, especialmente nas fisionomias da Mata Atlântica, que ocupam menos de 28% da sua área original (REZENDE et al., 2018). Exemplo disso são as florestas estacionais deciduais e semideciduais, que se encontram distribuídas na forma de manchas remanescentes na região de transição entre os biomas Caatinga e Mata Atlântica.

A fragmentação ocasiona o surgimento de fronteiras artificiais entre a floresta e outros usos do solo, levando a formação de bordas abruptas (LAURANCE, 2003). As áreas localizadas nas bordas dos fragmentos ficam mais expostas à influência do ambiente externo, alterando o fluxo de energia, matéria e organismo entre os ambientes adjacentes. Esse conjunto de alterações ecológicas que ocorrem entre borda e interior é denominado de efeito de borda (HARPER et al., 2005).

O efeito de borda gera gradientes abióticos e bióticos afetando vários componentes do ecossistema, como a vegetação e atributos do solo, incluindo os teores de carbono orgânico do solo (COS) (BARRETO-GARCIA et al., 2019). O COS é considerado um indicador sensível de alterações no ambiente, influenciando muitos processos edáficos, que vão desde a agregação até o fornecimento de nutrientes para as plantas. Estudos recentes demonstraram a sensibilidade do COS às variações impostas pela fragmentação. Apesar disso, ainda são escassos os registros de estudos relacionados ao efeito de borda no acúmulo do COS em frações de maior ou menor labilidade no solo.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar as frações do carbono orgânico do solo como indicador do efeito de borda em fragmentos de floresta Estacional Semidecidual de diferentes tamanhos.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo estão localizadas no município de Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. Estão inseridas em uma zona de transição entre os biomas Caatinga e Mata Atlântica, cuja vegetação é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana. (IBGE, 2012). A região apresenta relevo plano a suave ondulado localizada em área com clima tropical de altitude (tipo Cwb, segundo Köppen).

Foram avaliados três fragmentos florestais: um pequeno (7,3 ha), um de tamanho médio (45 ha) e um de tamanho grande (142 ha). Os fragmentos selecionados apresentavam semelhança na estrutura florestal semelhante (dada pela estratificação, porte das árvores e formas de vida presentes), estádio sucessional, histórico de perturbação, situação de entorno (que era predominantemente agropecuária) e classe e textura do solo (argiloarenosa).

Para avaliação do efeito de borda, foram definidas três faixas de amostragem em cada um dos fragmentos florestais: (a) borda - posicionada na extremidade do fragmento, a 0-10 m da borda; (b) transição - posicionada a 40-50 m da borda; e (c) interior - matriz do fragmento, localizada na metade da distância total entre extremidades de cada fragmento no sentido de caminhamento da demarcação das faixas (180, 400, e 500 m, respectivamente, para os fragmentos pequeno, médio e grande).

Para as amostragens de solo, em cada uma das faixas foram demarcadas três parcelas de 10 x 30 m (300 m^2). Em cada parcela, foram coletadas cinco amostras simples (profundidade 0-10 cm) para formar uma composta. Após coleta, as amostras foram secas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm e maceradas.

As frações do C orgânico total do solo foram determinadas por oxidação úmida, utilizando o método proposto por CHAN et al. (2001). Para determinação do carbono orgânico total do solo (COS) utilizou-se o método proposto por WALKLEY;BLACK (1934).

A partir da comparação das concentrações de C obtidas com graus crescentes de oxidação, três frações foram determinadas: C lábil (CL); C moderadamente lábil (CML) e C pouco lábil (CLL).

Os dados foram testados quanto à normalidade (teste de Lilliefors, 5%) e homogeneidade (teste de Cochran, 5%). Para comparação de médias, empregou-se o teste t de Student a 5% de significância, utilizando o programa estatístico Statsoft STATISTICA® v.10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico do solo (COS) não mostraram variação entre as faixas de amostragem do fragmento grande, evidenciando diferenças apenas nos fragmentos de menor tamanho (Figura 1). No fragmento pequeno, houve redução dos teores de COS da borda em comparação a transição e interior (em média, -37,31%), enquanto no fragmento médio houve redução tanto na borda quanto na transição em comparação ao interior (-17,53 e -10,72, respectivamente).

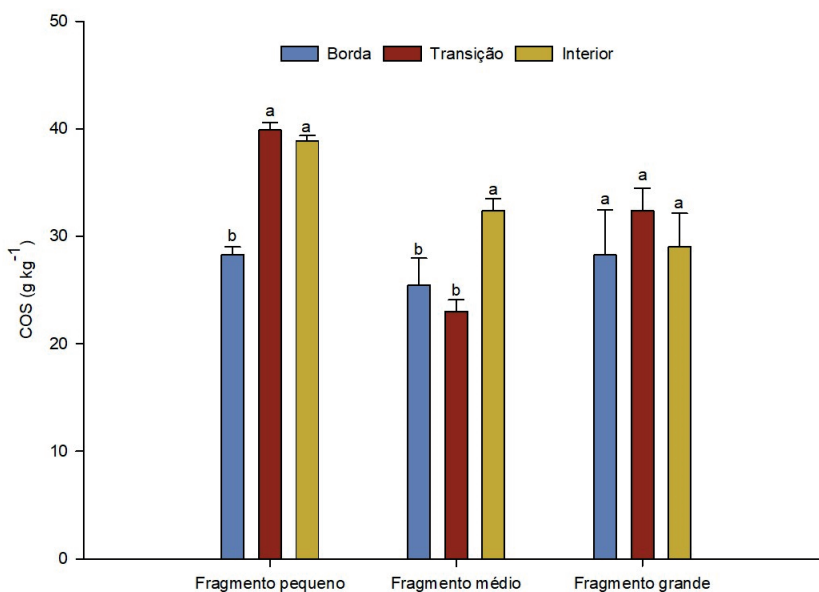



Figura 1: Carbono Orgânico do Solo (COS) em três distâncias da borda de fragmentos de floresta tropical Semidecídua. Em que: Borda – faixa amostral posicionada a 0-10 m da borda; Transição – faixa amostral posicionada a 40-50 m da borda; e Interior – localizada na parte central do fragmento florestal. Letras iguais comparam as faixas de cada fragmento florestal e não mostram diferenças estatísticas pelo teste t de Student a 5%.

A redução dos teores de COS nas bordas apenas dos fragmentos de menor tamanho denota que o aumento da área estaria atenuando o efeito de borda. Isso é explicado pelo fato de o microambiente da borda representar maior proporção da área total em fragmentos menores, tornando-os mais propensos a mudanças acima do solo, que estariam impactando a dinâmica de acúmulo de carbono orgânico no solo. BARRETO-GARCIA et al. (2019)

também observaram redução dos teores de COS na borda de um fragmento de floresta Estacional Semidecidual. Por outro lado, SILVA et al. (2021), também estudando uma floresta Estacional Semidecidual, observaram que o COS não foi um indicador sensível de mudanças relacionadas ao efeito de borda

Em todos os fragmentos, a fração oxidável com maior acúmulo de carbono foi a fração lábil (CL), que representou em média 48% do COS. Essa fração apresentou redução do teor na borda do fragmento de menor tamanho, não sendo observada variação entre faixas nos outros fragmentos (Figura 2).

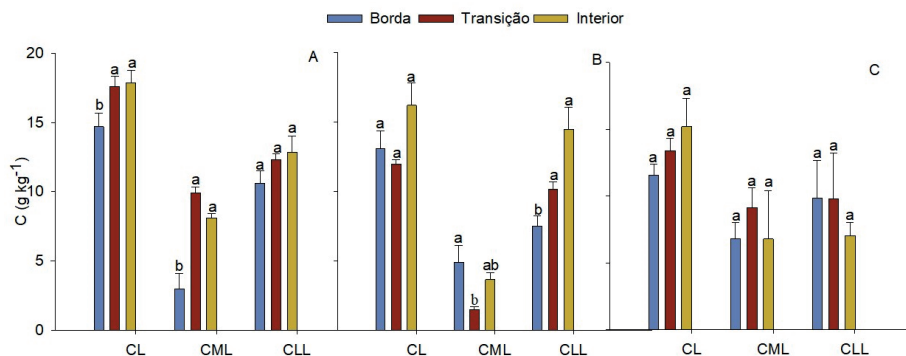



Figura 2: Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo (g kg^{-1}) em três distâncias da borda de fragmentos de floresta tropical Semidecídua. Em que: A - Fragmento pequeno; B- Fragmento médio; C - Fragmento grande; Borda – faixa amostral posicionada a 0-10 m da borda; Transição – faixa amostral posicionada a 40-50 m da borda; e Interior – localizada na parte central do fragmento florestal; CL – carbono lábil; CML – carbono moderadamente lábil; CLL – carbono pouco lábil. Letras iguais comparam as faixas de cada fragmento florestal e não mostram diferenças estatísticas pelo teste t de Student a 5%.

No fragmento de menor tamanho também foi verificada redução da fração CML. Essa fração também variou no fragmento médio, porém foi verificado aumento na borda em comparação ao de transição. Por sua vez, a fração CLL variou apenas no fragmento de tamanho médio, sendo observada redução na borda em comparação as outras faixas (Figura 2). Mudanças nas frações de CML e CLL geralmente estão associadas a respostas em longo prazo, já que estas apresentam como característica uma maior resistência à decomposição. Assim, a redução dessas frações evidencia que a borda é um ambiente bastante alterado e que isso estaria acelerando a decomposição (inclusive de compostos relativamente recalcitrantes), reduzindo a quantidade de C em frações mais estáveis da matéria orgânica do solo (YU et al., 2022).

CONCLUSÕES

As frações oxidáveis do carbono orgânico do solo, em especial as frações mais lábeis, mostram-se indicadores sensíveis de mudanças ocasionadas pelo efeito de borda em fragmentos de menor tamanho.

O tamanho dos fragmentos influencia a magnitude das mudanças causadas pelo efeito de borda nas frações de carbono orgânico do solo. Os fragmentos de menor tamanho mostraram-se mais suscetíveis, enquanto no fragmento maior verifica-se uniformidade da dinâmica do C orgânico do solo em toda a sua extensão pela menor influência do ambiente externo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SCORIZA, R. N.; PAULA, A. Edge effect on chemical attributes of soil in a seasonal forest. **Revista Árvore**, v. 43, 2019.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizible organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic Paleustalf under different pasture leys. **Soil science**, v. 166, n. 1, p. 61-67, 2001.

HARPER, K. A. et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005.

LAURANCE, W. F. Hyperdynamism in fragmented habitats. **Journal of Vegetation Science**, v. 13, n. 4, p. 595-602, 2002.

REZENDE, C. L. et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 4, p. 208-214, 2018.

SILVA, C. F. et al. Edaphic attributes indicative of edge effect in Semideciduous tropical forest. **Acta Oecologica**, v. 113, p. 103776, 2021.

WALKLEY, A.; BLACK, I. Armstrong. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

YU, P. et al. The quantity and stability of soil organic carbon following vegetation degradation in a salt-affected region of Northeastern China. **Catena**, v. 211, p. 105984, 2022.

CAPÍTULO 35

ÉPOCA DE APLICAÇÃO DE FARELO DE MAMONA E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO DE BRÓCOLIS E NO CONTROLE DA HÉRNIA DAS CRUCÍFERAS

Data de aceite: 01/04/2024

Laura Carine Candido Diniz Cruz
Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia (UFRRJ)

Leandro Freitas Pereira
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia (UFRRJ)

Beatriz Calixto da Silva
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia (UFRRJ)

Carlos Antônio dos Santos
Professor do Instituto Federal do Paraná (IFPR)

Margarida Goréte Ferreira do Carmo
Professora no Departamento de Fitotecnia (UFRRJ)

RESUMO: O trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito da fertilização com farelo de mamona, em diferentes épocas de aplicação, no desenvolvimento de brócolis e no controle da hérnia das crucíferas. Avaliaram-se três épocas de aplicação do farelo de mamona, aos 14 e 7 dias anteriores e no dia do transplantio das mudas, mais um tratamento testemunha com adubação mineral à base de NPK e inoculação ou não com *Plasmodiophora brassicae* (6,25 x 10^3 esporos g^{-1} de solo). Adotou-se o delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 4x2, com 6 repetições. Foram utilizados vasos com a capacidade de 8 L, preenchidos com solo de textura arenosa. A adubação foi dimensionada visando o aporte de 90 Kg de N ha^{-1}. Utilizaram-se mudas de brócolis de ciclo precoce, cv. Coliseu. Aos 60 dias após o transplantio quantificou-se a intensidade da doença e o desenvolvimento das plantas. Observou-se 100% de incidência da doença nas parcelas inoculadas e 0% nas não inoculadas. Menor severidade, porcentagem de raízes com hérnias e desenvolvimento das plantas foram registrados quando o farelo foi aplicado aos 14 dias antes do transplantio. Não houve efeitos da época de aplicação sobre o desenvolvimento das plantas nas parcelas não inoculadas. Conclui-se que o farelo de mamona aplicado aos 14 dias antes do transplantio pode contribuir para redução da severidade da hérnia das crucíferas e que, na ausência do patógeno e da doença, a época de aplicação de farelo de mamona não afeta o desenvolvimento do brócolis.

PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica, *Brassica oleracea* var. *italica*, *Plasmodiophora brassicae*.

CASTOR BEAN MEAL TIME OF APPLICATION AND ITS EFFECTS ON BROCCOLI DEVELOPEMENT AND ON CLUBROOT CONTROL

ABSTRACT: The study aimed to evaluate the effect of fertilization with castor bean meal, at different times of application, on the broccoli development and on the clubroot control . Three application times of castor bean meal were evaluated, on the 14th and 7th days before and on the day of seedlings transplanting, plus a control treatment with mineral fertilizer NPK-based, and inoculation or not with Plasmodiophora brassicae (6.25 x 103 spores g-1 of soil). A randomized block design was adopted in a 4x2 factorial scheme, with 6 replications. Pots with a capacity of 8 L were filled with sandy soil. Fertilization was designed to provide 90 kg of N ha-1. Early cycle broccoli seedlings, cv. Coliseu were used. After 60 days from transplanting, the disease intensity and plants development were quantified. A 100% incidence of the disease was observed in the inoculated plots and 0% in the non-inoculated plots. Lower severity, percentage of clubroot and plant development were recorded when the meal was applied 14 days before transplanting. There were no effects of application time on plant development in non-inoculated plots. It is concluded that castor bean meal applied 14 days before transplanting can contribute to reducing the severity of clubroot and that, in the absence of the pathogen and the disease, the timing of castor bean meal application does not affect broccoli development.

KEYWORDS: *Brassica oleracea* var. *italica*, organic fertilizer, *Plasmodiophora brassicae*

INTRODUÇÃO

A família Brassicaceae compreende diversas culturas agrícolas de grande interesse econômico, destacando-se *Brassica oleracea* e suas variedades, como brócolis, couve-flor, repolho e couve-comum (FILGUEIRA, 2008). Um dos principais entraves para a produção destas hortaliças é a hérnia das crucíferas. Esta doença é causada por um protozoário habitante do solo, *Plasmodiophora brassicae* Woronin, que sobrevive no solo por anos através de esporos resistentes (DIXON, 2009). O principal sintoma da doença é a formação de galhas no sistema radicular, prejudicando a absorção de água e nutrientes e, consequentemente, reduzindo da produtividade.

O controle da hérnia das crucíferas é dificultado pelas poucas opções e necessidade de uso de um conjunto de estratégias, como: uso de mudas saudáveis, rotação de culturas, correção da acidez e aumento nos níveis de Ca no solo (SANTOS et al., 2017). Para o controle químico tem-se apenas um princípio ativo disponível, a ciazofamida.

O uso de adubos orgânicos é uma estratégia bastante estudada para a supressão de doenças causadas por patógenos do solo além de ser importante na melhoria das condições físicas e químicas do solo (SANTOS et al., 2023). A aplicação de matéria orgânica pode favorecer a microbiota e contribuir para a redução do desenvolvimento de algumas doenças (HADAR;PAPADOPOULOU, 2012). Dentre os fertilizantes orgânicos estudados, destaca-se a torta de mamona, que além de ser rica em nutrientes, apresenta efeito nematicida (FERREIRA, 2012), e relatos de redução da incidência da hérnia das crucíferas em plantas

de couve-flor (SANTOS et al., 2018). No entanto, são necessários estudos mais detalhados para se confirmar este efeito e validar esta estratégia como auxiliar no controle de hérnia das crucíferas.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da fertilização com farelo de mamona, em diferentes épocas de aplicação, no desenvolvimento de brócolis e no controle da hérnia das crucíferas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação climatizada da UFRRJ. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em fatorial 2x4, com seis repetições. As fontes de variação foram formadas por inoculação ou não com esporos de *P. brassicae* e quatro tratamentos de adubação, sendo três com farelo de mamona em dose equivalente a 90 Kg de N ha^{-1}, aplicado em três épocas distintas, acrescido de um tratamento testemunha sem adição de farelo de mamona, sendo: a) aplicação de farelo de mamona na ocasião do transplantio das mudas - 0 dias antes do transplantio (DAAT); b) aplicação de farelo de mamona aos 7 DAAT; c) aplicação de farelo de mamona aos 14 DAAT; d) adubação mineral com N, P e K, com quantidade equivalente de N.

Os ensaios foram implementados em vasos com capacidade de 8 L e preenchidos com solo de textura arenosa homogeneizado. O solo utilizado continha os seguintes atributos químicos iniciais: pH (água) = 5,40; Al = 0,03 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca = 2,99 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg = 1,37 cmolc dm^{-3}; CTC = 6,56 $cmol_c$ dm^{-3}; H + Al = 1,90 $cmol_c$ dm^{-3}; V (%) = 71%; P = 34,67 mg/dm^3 e K = 54,10 mg/dm^3.

O farelo de mamona foi homogeneizado de acordo com o calendário de adubação especificado em cada tratamento: aplicação de farelo de mamona aos 14, 7 e 0 DAAT, além da testemunha com adubação mineral aos 0 DAAT. Incorporou-se a dose de 65 g de farelo de mamona por vaso (equivalente a 90 Kg de N por ha) e foi realizada a suplementação com adubação mineral, visando corrigir o P e K, conforme as necessidades da cultura e tendo como base o resultado da análise de fertilidade do solo. Para isso, foram aplicados 20,72 g $vaso^{-1}$ de superfosfato simples e 6,21 g de cloreto de potássio (KCl). Já no tratamento com aplicação de NPK, sem farelo de mamona, foi feita a aplicação de 20,72 g de superfosfato simples, 7,2 g de ureia e 9,09 de cloreto de potássio (KCl) visando padronizar os valores de N, P e K da testemunha em relação aos valores presentes nos demais tratamentos.

Utilizaram-se mudas de brócolis de inflorescência única, cultivar Coliseu[H] (Feltrin), caracterizada por elevada precocidade e tolerância a temperaturas mais elevadas. As mudas, produzidas em bandejas de 128 células, apresentavam 30 dias de idade e 3 a 4 folhas definitivas.

A inoculação foi realizada após o transplantio por meio de rega de 50 mL de suspensão contendo 10^6 esporos resistentes, obtendo a densidade de 6,25 x 10^3 esporos

por g de solo. Nos tratamentos sem inoculação, foram adicionados 50 mL de água destilada. O inóculo foi obtido conforme SANTOS et al. (2018).

As plantas foram cultivadas seguindo o manejo usual para a cultura com irrigações diárias e remoção manual de plantas invasoras. Realizaram-se adubações de cobertura aplicando-se 5 g planta^{-1} de formulação mineral de NK (20-20), além de adubação foliar a cada 15 dias com boro e molibdênio na forma de ácido bórico (1 g L^{-1}) e molibdato de amônia (0,5 g L^{-1}), respectivamente. Para controle de lagartas, foi feita aplicação de produto comercial a base de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, linhagem HD-1.

As avaliações foram feitas aos 60 dias após o transplantio, quando as plantas apresentavam inflorescências bem desenvolvidas e compactas (LUENGO; MELO, 2022). Avaliaram-se a massa fresca da parte aérea e massa fresca da inflorescência. Posteriormente, removeram-se as raízes que foram fragmentadas em fração sadia (sem presença de hérnias) e fração doente (com hérnias). Em seguida, determinaram-se a severidade da doença com base em escala de notas (SANTOS et al., 2018), massa fresca das frações de raízes sadias e a porcentagem de hérnias nas raízes com base na massa fresca.

Os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas por teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico R (R Core Team, versão 4.1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Registraram-se sintomas da hérnia das crucíferas apenas nas parcelas inoculadas, em 100% das plantas e com alta severidade, expressa com base em escala de notas e na porcentagem massa de raízes com galhas. Foi registrado efeito significativo de inoculação para todas as variáveis avaliadas. A aplicação de farelo de mamona aos 14 DAAT resultou em valores de severidade (41,67%) e porcentagem de hérnias nas raízes (41,25%) significativamente inferiores aos demais tratamentos (87,50 a 94,17% e 87,66 a 99,31%, respectivamente) (Tabela 1).

Os valores massa fresca de raiz sadia foram sempre inferiores nos tratamentos inoculados com esporos de *P. brassicae*, com exceção ao tratamento com aplicação de farelo aos 14 DAAT, que resultou em plantas com maior massa fresca de raízes sadias, mesmo na presença do patógeno. As perdas de raízes ativas pela doença foram significativamente inferiores no tratamento com aplicação aos 14 DAAT (12%) e de 74 a 98% nos demais tratamentos (Tabela 1).

Nas parcelas inoculadas, as perdas de raízes sadias pela doença impactaram nos valores de massa fresca da parte aérea e da inflorescência, exceto nos tratamentos em que o farelo de mamona foi aplicado aos 14 DAAT (539,19 e 87,50 g, respectivamente) e no tratamento com NPK (587,50 e 82,50 g, respectivamente) (Tabela 1). Para os demais tratamentos inoculados, registraram-se perdas de massa fresca, em comparação às

parcelas não inoculadas, de 31% e 62% de massa fresca de parte aérea e 47% e 85% de massa fresca de inflorescência para os tratamentos 0 e 7 DAAT, respectivamente. Nas parcelas isentas de inoculação com esporos de *P. brassicae*, não houve diferença entre os tratamentos.

Tabela 1: Efeito da interação entre as épocas de aplicação do farelo de mamona: sem a aplicação do farelo de mamona, aplicação do farelo de mamona no momento do transplantio (0 DAAT), aplicação do farelo de mamona aos 7 e aos 14 dias anteriores ao transplantio (DAAT); e inoculação ou não com *Plasmodiophora brassicae* sobre as massas frescas de parte aérea, inflorescência e raiz sadia; severidade da hérnia das crucíferas e porcentagem de hérnias com base na massa fresca da raiz de brócolis (cv. Coliseu). Seropédica, UFRRJ, 2022.

Inoculação	Adubação			
	NPK	Farelo de mamona		
		0 DAAT	7 DAAT	14 DAAT
Massa fresca da parte aérea (g)				
Testemunha	644,17 Aa	719,17 Aa	689,17 Aa	608,33 Aa
P. brassicae	587,50 Aa	495,00 ABb	264,17 Bb	539,19 Aa
CV (%)	29,89			
Massa fresca da inflorescência (g)				
Testemunha	135,00 Aa	170,00 Aa	203,67 Aa	117,50 Aa
P. brassicae	82,50 Aa	90,83 Ab	30,00 Ab	87,50 Aa
CV (%)	30,08			
Severidade (%)				
Testemunha	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab
P. brassicae	87,50 Aa	92,50 Aa	94,17 Aa	41,67 Ba
CV (%)	25,88			
Massa Fresca de Raiz Sadia (g)				
Testemunha	53,33 Aa	57,50 Aa	60,00 Aa	48,33 Aa
P. brassicae	14,17 BCb	14,17 Bb	1,17 Cb	42,50 Aa
CV (%)	26,45			
Porcentagem de hérnias com base na massa fresca da raiz (%)				
Testemunha	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab
P. brassicae	87,66 Aa	90,54 Aa	99,31 Aa	41,25 Ba
CV (%)	24,99			

*Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si.

A incidência de hérnia das crucíferas foi generalizada, porém com redução da severidade com a aplicação do farelo de mamona aos 14 DAAT. De forma semelhante, Ferreira (2012) observou melhores resultados na aplicação do farelo de mamona visando o controle de nematoides em plantas de tomateiro quando a aplicação foi feita aos 14 dias anteriores ao transplantio. O autor atribuiu o efeito ao tempo de mineralização e liberação dos nutrientes para as plantas e ao possível efeito fitotóxico da torta quando aplicada

aos 7 dias anteriores ao transplante. SANTOS et al. (2018) observaram que a torta de mamona favoreceu o crescimento radicular e da parte aérea de plantas de couve-flor e reduziu a severidade da hérnia das crucíferas. No entanto, no presente ensaio, somente foi encontrado efeito significativo na redução da doença quando o adubo orgânico foi aplicado aos 14 DAAT.

Nas parcelas não inoculadas com *P. brassicae*, não houve diferença significativa entre os tratamentos, o que indica que a falta de antescedência na aplicação do farelo de mamona não afetou o desenvolvimento das plantas nem causou fitotoxicidade, diferindo de FERREIRA (2012) em seu estudo com o tomateiro.

CONCLUSÕES

O uso do farelo de mamona aplicado aos 14 dias anteriores ao transplantio reduziu a severidade da hérnia das crucíferas e aumentou o desenvolvimento de raízes sadias e das plantas de brócolis.

A adubação de brócolis com farelo de mamona, independente da época de aplicação, foi equivalente à adubação mineral.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Programa de Pós Graduação em Fitotecnia pela oportunidade e o aprendizado para a realização do presente trabalho.

Às as agências de fomento CAPES e FAPERJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIXON, G. R. The occurrence and economic impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 194–202, 2009.

FERREIRA, P. A. **Avaliação de um fertilizante organomineral com atividade nematicida**. 2012. 73 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura:** agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2008.

HADAR, Y.; PAPADOPOULOU, K. K. Suppressive composts: microbial ecology links between abiotic environments and healthy plants. **Annual Review of Phytopathology**, v. 50, n. 1, p. 133–153, 2012.

LUENGO, R. F. A.; MELO, R. A. C. Colheita, manuseio e comercialização. In: NICK, C.; BORÉM, A. (ed.). **BRÁSSICAS**: **do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2022. p 230-251.

SANTOS, C. A. et al. Liming and biofungicide for the control of clubroot in cauliflower. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, p. 303-311, 2017.

SANTOS, C. A. et al. Avaliação preliminar do uso de torta de mamona no manejo da hérnia das crucíferas em couve-flor. **Colloquium Agrariae**, v. 4, n. 3, p. 31-38, 2018.

SANTOS, C. A. et al. Uso de compostos orgânicos e substâncias húmicas no manejo de Brassicáceas e no controle da hérnia das crucíferas (*Plasmodiophora brassicae*). In: AMARAL SOBRINHO, N. M. B. et al. (Org.). **Substâncias húmicas no processo de compostagem: gênese, caracterização e aplicação**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2023. p. 137-155.

CAPÍTULO 36

PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS DE *ORYZA SATIVA* L. SUBMETIDA ÀS DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

Data de aceite: 01/04/2024

Leonardo Santos da Silva
Estudante de Graduação em Agronomia (UFRRJ)

Luana de Lima de Almeida
Estudante de Graduação em Engenharia Florestal (UFRRJ)

Kimberly Christina Marques da Silva
Estudante de graduação em Licenciatura em Ciências Agrícolas (UFRRJ)

Danielle França de Oliveira Torchia
Pós-Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

Hellen Fernanda Oliveira da Silva
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ)

Andrés Calderín García
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: Objetivou-se com esse trabalho analisar os efeitos das substâncias húmicas (SH) na concentração de pigmentos cloroplastídicos (clorofila a clorofila b e carotenoides) e dos parâmetros morfológicos (altura, largura, comprimento das folhas e diâmetro do colmo) em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) da cultivar BRS Esmeralda. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e as plantas cultivadas em vasos com areia lavada, contendo solução nutritiva, havendo um controle e diferentes concentrações de SH extraídas de vermicomposto. Os tratamentos foram: 0, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 e 100 mg SH. L^{-1}, submetidos à essas condições por diferentes intervalos de tempo, que foram de 24h, 48h, 72h, 96h, 120h e 144h. Com intervalos de 24h entre as coletas, foram feitas medições dos parâmetros morfológicos e leituras das pigmentações: clorofila a,clorofila b e carotenoide, 72h após cada coleta. Foi possível observar em ambas as análises, que não houve diferenças significativas entre as concentrações dos pigmentos cloroplastídicos e tampouco com os parâmetros morfológicos. Conclui-se que o fator tempo de submissão aos tratamentos relacionados no presente estudo não tenha sido o suficiente para influenciar nos parâmetros morfofisiológicos.

PALAVRAS-CHAVE: arroz, bioatividade, fisiologia, húmus, morfologia.

MORPHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF *ORYZA SATIVA* L. SUBJECTED TO DIFFERENT CONCENTRATIONS OF HUMIC SUBSTANCES

ABSTRACT: The objective of this work was to analyze the effects of humic substances (SH) on the concentration of chloroplast pigments (chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids) and morphological parameters (height, width, leaf length and stem diameter) in rice plants (Oryza sativa L.) from the cultivar BRS Esmeralda. The experiment was conducted in a greenhouse and the plants were grown in pots with washed sand, containing nutrient solution, with a control and different concentrations of SH extracted from vermicompost. The treatments were: 0, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 and 100 mg SH. L^{-1}, subjected to these conditions for different time intervals, which were 24h, 48h, 72h, 96h, 120h and 144h. With 24-hour intervals between collections, measurements of morphological parameters and pigmentation readings were made: chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid, 72 hours after each collection. It was possible to observe in both analyzes that there were no significant differences between the concentrations of chloroplast pigments nor with the morphological parameters. It is concluded that the time factor of submission to the treatments listed in the present study was not enough to influence the morphophysiological parameters.
KEYWORDS: bioactivity, humus, morphology, physiology, rice.

INTRODUÇÃO

Novas tecnologias em prol de uma produção sustentável vêm sendo desenvolvidas e adotadas em diversas regiões do país e uma das alternativas tem sido o uso de bioestimulantes que foram descritos por RUSSO;BERLYN (1992), como produtos não nutricionais, que podem reduzir o uso de fertilizantes e aumentar a produção e a resistência aos estresses causados por condições adversas.

Os principais componentes de bioestimulantes comercialmente disponíveis podem incluir materiais húmicos. Uma prática bem estabelecida é a vermicompostagem, em que ocorre a transformação da matéria orgânica, decorrente da ação combinada das minhocas e dos microrganismos que vivem em seu trato digestivo. Uma das peculiaridades do vermicomposto é sua maior estabilização dos resíduos convertendo-os de forma acelerada em SH (BEFROZFAR et al., 2013).

As SH apresentam estruturas complexas, constituídas de estruturas poliméricas amorfas em vários graus de polidispersão, caráter ácido, predominantemente aromático, hidrofílicas, natureza polieletrolítica e massa molecular entre algumas centenas até milhares (GARCÍA et al., 2016a). São responsáveis pela melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas, especialmente na rizosfera (SANTOS; CAMARGO, 1999). As frações húmicas mais importantes quanto à reatividade e de maior ocorrência nos ecossistemas são os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (BERBARA; GARCÍA, 2014). Todavia, pouco se conhece sobre a ação das SH no metabolismo primário, especificamente a fotossíntese. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar em momentos diferentes o efeito dose-resposta de concentrações crescentes de SH sobre a morfofisiologia em plântulas de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de *Oryza sativa* L. cv Esmeralda semeadas em casa de vegetação com água destilada e quando germinaram receberam solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950) com ¼ da força iônica (f.i.) modificada. Oito dias após a semeadura (DAS) foram transplantadas para vasos contendo areia lavada com a mesma solução nutritiva, porém a ½ f.i. modificada. Receberam os tratamentos de substância húmica na forma íntegra (ácido húmico + ácido fúlvico), extraída de vermicomposto, com quatro dias após o transplantio (DAT), em que coincidiu com a troca da solução nutritiva, sendo realizada de três em três dias. As doses de SH eram dissolvidas na solução nutritiva com as seguintes concentrações: 0, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 mg SH. L^{-1} e cada concentração foi reaplicada duas vezes. Após 24h da primeira aplicação de SH, uma parcela de cada tratamento foi coletada (Figura 1).

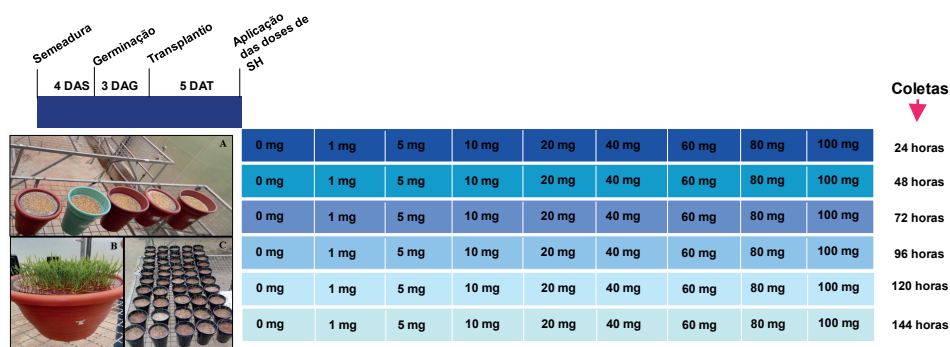



Figura 1: Linha do tempo montagem experimental com plantas de arroz submetidas aos diferentes momentos e concentrações de substâncias húmicas. A- Fase experimental em dias após a semeadura (DAS); B- Fase experimental em dias após germinação (DAG); C- Fase experimental em dias após transplantio (DAT).

A parte aérea de cada planta foi mensurada com a utilização de régua e paquímetro para obtenção os seguintes parâmetros morfológicos: altura (cm), largura e comprimento da folha mais expandida (cm) e diâmetro do colmo (mm), sendo estas análises realizadas em uma média de 20 plantas.

Para a análise do conteúdo de pigmentos fotossintéticos, foram coletadas amostras da folha mais expandida. Foram lavadas com água destilada para remoção de impurezas, pesadas aproximadamente 200mg de cada réplica e o peso de cada amostra foi anotado para posterior determinação de miligramas de pigmentos/grama de massa seca. Cada amostra foliar anteriormente pesada foi colocada em tubos Falcon com capacidade para 15mL contendo 10mL de metanol e deixada 72h em refrigeração no escuro. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Shimatzu UV-vis 1800) em absorbâncias de 665,2nm

(clorofila a), 652,4nm (clorofila b) e 470nm (carotenóides). Para a dosagem de clorofila, as folhas foram picadas, pesadas 0,5g de massa fresca desse material, embrulhadas em papel alumínio e mantidos em baixa temperatura. Os teores de pigmento serão calculados baseados nas equações de Arnon (1949) e Lichtenthaler (1987) usando as fórmulas:

$$Chla = 16,72\ (Abs\ 665,2\ nm) - 9,16\ (Abs\ 665,2nm)$$

$$Chlb = 34,09\ (Abs\ 652,4\ nm) - 15,28\ (Abs\ 652,4nm)$$

$$Carot = [1000(Abs\ 470nm) - 1,63\ (Abs\ 665,2\ nm) - 104,96\ (Abs\ 652,4)] / 221$$

Já o conteúdo da clorofila foi calculado pela equação abaixo:

Clorofila a = teor (μg/g) Chl a x peso parte aérea

Clorofila b = teor (μg/g) Chl b x peso parte aérea

Carotenóide = teor (μg/g) Carot x peso parte aérea

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstram o efeito da aplicação de substâncias húmicas extraídas de vermicomposto na sua forma íntegra durante o período de aclimatação em relação à determinação de pigmentos fotossintéticos (Figura 2). Pode-se observar que os tratamentos não incrementaram expressivamente o conteúdo de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides quando comparadas com o controle sem aplicação de SH.

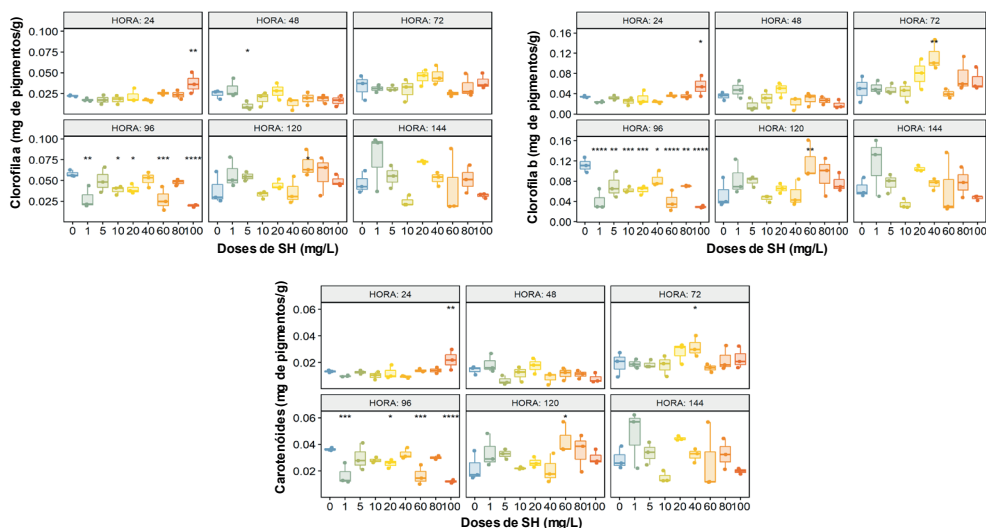



Figura 2: Concentração de pigmentos cloroplastídicos em plântulas de *Oryza sativa* L. cv. BRS Esmeralda submetidas à aplicação de diferentes doses de SH e avaliadas em diferentes intervalos de tempo.

Uma parcela dos impactos bioestimulantes das substâncias húmicas tem sido correlacionada à sua atuação análoga aos hormônios vegetais da classe das auxinas, isto é, podem proporcionar o crescimento vegetal em concentrações consideravelmente pequenas. Contudo, LIU et al. (1998) comprovaram que a aplicação de ácidos húmicos (0, 100, 200, 400 mg/L) na gramínea *Agrostisstolonífera* não modificaram o teor de clorofila, apesar de ter afetado o metabolismo fotossintético. As divergências encontradas na literatura (LIU et al., 1998; FERRARA;BRUNETTI, 2008) sugerem a presença da influência entre fatores como: fonte e dose da SH em questão, genótipo, ambiente de cultivo e tempo de submissão.

O mesmo é possível constatar nos indicadores morfológicos da parte aérea (Figura 3), em que não promoveram um efeito estatisticamente significativo. A utilização do AH de vermicomposto no estímulo ao desenvolvimento da planta está bem reportado (RODDA et al., 2006; ZANDONADI et al., 2007). Entretanto, neste trabalho não foram observadas diferenças tanto nos conteúdos cloroplastídicos como nas características morfológicas da parte aérea. Foi possível observar em ambas as análises, que não houve diferenças significativas entre as concentrações dos pigmentos cloroplastídicos e tampouco com os parâmetros morfológicos.

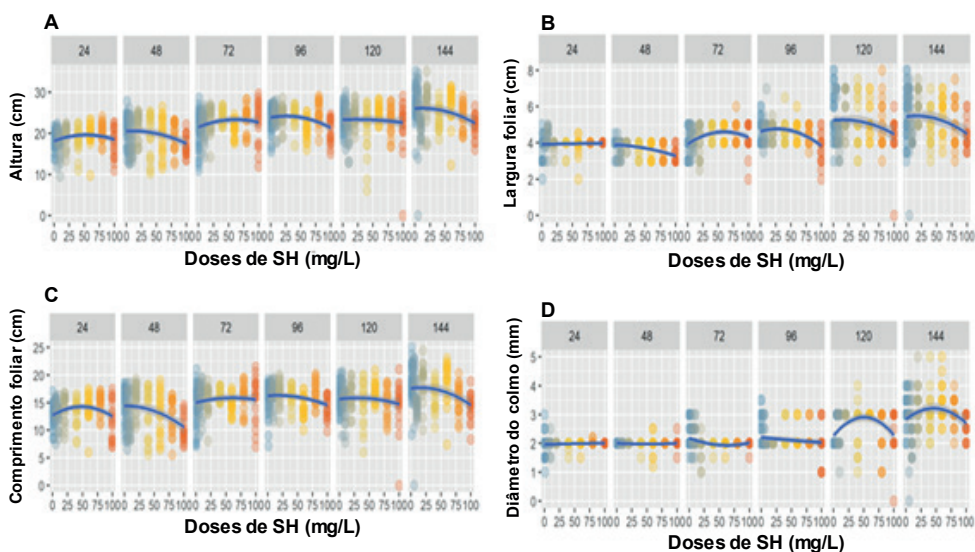



Figura 3: Parâmetros morfológicos em plântulas de *Oryza sativa* L. cv. BRS Esmeralda submetidas à aplicação de diferentes doses de SH e avaliadas em diferentes intervalos de tempo.

CONCLUSÕES

A SH não promoveu crescimento vegetativo nas plântulas de arroz cv. BRS Esmeralda até o último intervalo de tempo avaliado, contudo observou-se uma grande variabilidade entre os tratamentos dentro das observações mensuradas. Conclui-se que o fator tempo de submissão aos tratamentos relacionados no presente estudo não tenha sido o suficiente para influenciar nos parâmetros morfofisiológicos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (PPGA-CS, UFRRRJ), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - Brasil, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil, e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. **Plant Physiology**, Rockville, v.24, n.1, p.1-15, 1949.

BEFROZFAR; M. R.; HABIBI; D.; ASGHARZADEH; A.; SADEGHI-; M.; TOOKALLOO; M. R. Vermicompost; plant growth promoting bacteria and humic acid can affect the growth and essence of basil (*Ocimum basilicum L.*). **Scholars Research Library**; v. 4; n. 2; p. 8–12; 2013.

BERBARA, R.L. GARCÍA, A.C. Humic substances and plant defense metabolismo. In: Ahmad P, Wani MR, editors. Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment. **New York: Springer**; 2014. P. 297-319.

FERRARA, G.; BRUNETTI, G. Influence of foliar applications of humic acids on yield and fruit quality of Table grape cv. Itália. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v.42, p.7987, 2008.

GARCÍA; A. C.; SOUZA; L. G.; PEREIRA; M. G.; CASTRO; R. N.; GARCÍA-MINA; J. M.; ZONTA; E.; LISBOA; F. J.; BERBARA; R. L. L. Structure-property-function relationshipin humic substances to explain the biological activity in plants. **Sci Rep**. 6(1):20798; 2016a.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils Berkeley. **California Agricultural Experimental Station**, 347p., 1950.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: COLOWICK, S.P.; KAPLAN, N.O. (Eds). **Methods in enzymology**, San Diego, v.148, p.350-382, 1987.

LIU, CHUNHUA & COOPER, R.J. & BOWMAN, D.C.. (1998). Humic Acid Application Affects Photosynthesis, Root Development, and Nutrient Content of Creeping Bentgrass. HortScience: a publication of the **American Society for Horticultural Science**. 33. 10.21273/HORTSCI.33.6.1023.

RODDA, M.R.C. et al. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 30 (4), p. 649-656, 2006.

RUSSO, R.O., BERLYN, G.P., 1992. Vitamin-humic-algal root biostimulant increases yield of green bean. **HortScience** 27 (7) 847-847.

SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: **Gênesis**, 1999. p. 69-90.

ZANDONADI, D. B.; CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H+ pumps activation. **Plant**, v. 225, n. 6, p. 1583-1595, 2007.

CAPÍTULO 37

AVALIAÇÃO DA APTIDÃO AGRICOLA EM ÁREAS DE CAATINGA NA MICRORREGIÃO DE PETROLINA - PE DESTINADAS A CAPRINOCULTURA E OVINOCULTURA DE SUBSISTÊNCIA

Data de aceite: 01/04/2024

Leonardo Torres Barbosa
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Renato Sinquini de Souza
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O estudo teve como objetivo avaliar a aptidão agrícola das terras na microrregião de Petrolina, Nordeste do Brasil, em um ecossistema marcado pela predominância da caatinga, no qual a principal forma de utilização é a caprinocultura e ovinocultura, atividades agropecuárias muito comum na região. Para o estudo, foram abertas 3 trincheiras, realizada a descrição morfológica e coletadas amostras para a caracterização dos solos. Após essa etapa os perfis foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT). Os perfis foram classificados como Cambissolos Háplicos, todos possuindo um horizonte A moderado. Quanto a avaliação da aptidão agrícola, verificou-se que os níveis de fertilidade do solo são adequados, não foram verificados problemas com suscetibilidade a erosão, deficiência de oxigênio ou impedimentos a mecanização. A maior limitação observada na área de estudo é a escassez de água. As áreas foram identificadas como classe 5n, destinadas ao uso como pastagem natural, sendo que a atual forma de uso, a caprinocultura e ovinocultura, realizada pelos pequenos agricultores (Nível A) na região está em conformidade com a análise de aptidão.

PALAVRAS-CHAVE: caatinga, manejo reprodutivo, pequenos produtores, solo semiárido, sustentabilidade

EVALUATION OF AGRICULTURAL APTITUDE IN CAATINGA AREAS INTENDED FOR SUBSISTENCE GOAT AND SHEEP FARMING

ABSTRACT: The aim of the study was to assess the agricultural suitability of the land in the Petrolina micro-region, in the north-east of Brazil, in an ecosystem marked by the predominance of the caatinga, in which

the main form of use is goat and sheep farming, very common agricultural activities in the region. For the study, three trenches were opened, a morphological description was carried out and samples were collected to characterize the soils. After this stage, the profiles were classified according to the Brazilian Soil Classification System and the System for Evaluating the Agricultural Aptitude of Land (SAAAT). The profiles were classified as Cambissolos Háplicos, all with a moderate A horizon. The assessment of agricultural suitability showed that soil fertility levels are adequate, and there were no problems with susceptibility to erosion, oxygen deficiency or impediments to mechanization. The greatest limitation observed in the study area is the scarcity of water. The areas were identified as class 5n, intended for use as natural pasture, and the current form of use - goat and sheep farming by small farmers (Level A) in the region - is in line with the suitability analysis.
KEYWORDS: caatinga, reproductive management, semi-arid soil, small producers, sustainability

INTRODUÇÃO

No nordeste do Brasil são observadas áreas de vegetação xerófila, apresentando uma variedade de fisionomias e flora, conhecida como “caatinga” (RAMALHO et al., 2009). A caatinga, que representa cerca de 800.000 km^2, constitui aproximadamente 70% da cobertura vegetal de toda a região (DRUMOND et al., 2000). Fitogeograficamente, essa formação abrange aproximadamente 11% do território nacional (ANDRADE et al.,2005), estendendo-se pelos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Minas Gerais (LEAL et al., 2005).

Uma das principais atividades agropecuárias exercidas nesse ambiente é a caprinocultura e ovinocultura. O Nordeste detém aproximadamente 93,0% do total nacional de rebanhos caprinos e 48,0% dos rebanhos ovinos. No estado de Pernambuco, a distribuição do rebanho revela que 89,73% desses animais estão na região semiárida. (SILVA et al., 2010). No entanto na microrregião de Petrolina a criação de caprinos e ovinos é uma prática comum e que, muitas vezes, é conduzida de maneira empírica e extensiva, sendo a vegetação da caatinga o principal sustento para os rebanhos. Nesses casos, são adotados baixos níveis tecnológicos para o manejo, como pouco controle sobre as categorias dos rebanhos: crias, recrias, matrizes, descartes, entre outros. Verifica-se uma baixa oferta de alimento para que as necessidades nutricionais dos animais sejam supridas, principalmente nas fases mais críticas como as secas (ALMEIDA FERRAZ, 2012).

Cada solo apresenta características e peculiaridades únicas, que a partir de um estudo de caso e uma análise detalhada, fornecem informações que podem ajudar a compreender qual é a melhor estratégia a ser adotada para a obtenção de melhores resultados qualquer que seja o objetivo, seja para sustentabilidade ambiental ou desenvolvimento econômico.

A relevância deste estudo reside na necessidade de compreender as características da das áreas, especialmente em uma região com condições climáticas específicas.

A caatinga, por sua vez, é um bioma único, adaptado às condições adversas, e sua preservação torna-se crucial diante das ameaças ambientais e para a sobrevivência daqueles que depende dela.

A realização de levantamentos da aptidão agrícola nesse contexto ganha destaque, fornecendo informações essenciais para orientar práticas sustentáveis relacionando as atividades exercidas atualmente com a aptidão que será estimada, nos ofertando uma gama de informações que permite adotar manejos que preservem a biodiversidade local e seja sustentável ecologicamente e financeiramente. Baseado nisso este trabalho busca analisar se o uso atual da terra em estudo, está de acordo com a estimativa dada pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAT) (RAMALHO FILHO et al., 1995).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada na microrregião de Petrolina no estado do Pernambuco. Mais especificamente no Sítio Lagoa Verde, no distrito de Jutaí, município de Lagoa Grande. A região apresenta bioma de caatinga com um clima semiárido quente Bsh, de acordo com a classificação de Köppen, com temperaturas médias elevadas (entre 25° e 30°C), e precipitação baixa, alcançando entre 400 e 1200mm por ano (TABARELLI et al., 2018). Foram abertos 3 perfis próximo à um riacho sazonal em diferentes posições ao longo das margens (Figura 1) objetivando identificar os horizontes diagnósticos dos perfis de solos, coletar amostras e classificá-los quanto às características morfológicas e físicas e químicas (SANTOS et al., 2018).

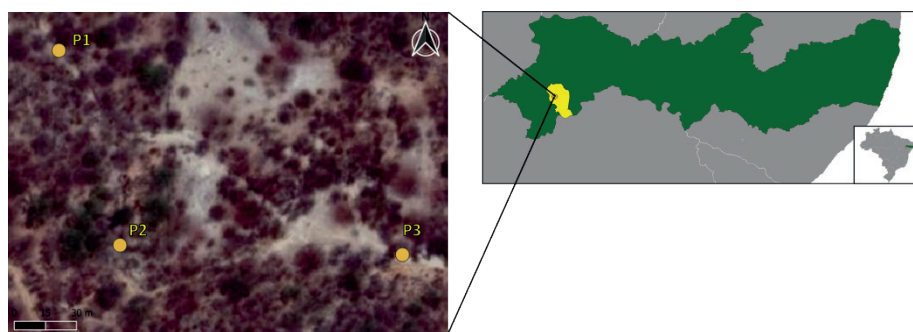



Figura 1: Localização dos perfis utilizados nesse estudo no Sítio Lagoa Verde, no distrito de Jutaí, e município de Lagoa Grande

Após a etapa de coleta de amostras de solo, os perfis foram classificados quanto à ordem e subordem de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2018). A interpretação da aptidão de cada um dos perfis foi feita usando os parâmetros do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT) (RAMALHO et al.,1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os perfis analisados pertencem a mesma ordem e subordem, e foram classificados como Cambissolos Háplicos (Figura 2) por apresentarem um horizonte diagnóstico subsuperficial B incipiente com argilas de atividade baixa (capacidade de troca catiônica da fração argila menor que 27 $cmol_c$ kg $argila^{-1}$) (SANTOS et al.,2018). Em todos os perfis foi identificada a presença de um horizonte diagnóstico superficial A moderado.

Perfil 1 Perfil 2 Perfil 3

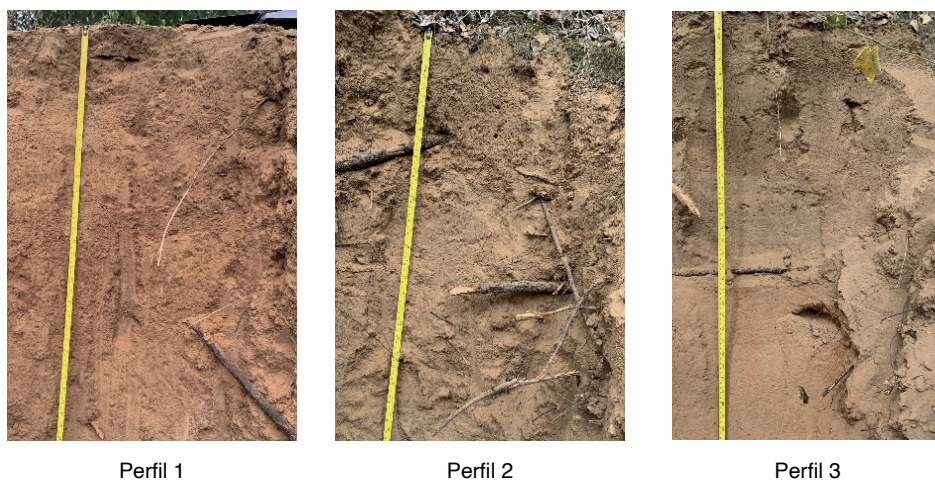



Figura 2: Perfis de solos localizados no Sítio Lagoa Verde, no distrito de Jutaí, e município de Lagoa Grande

Quanto as limitações, nos três perfis foram verificados bons níveis de fertilidade, sendo a soma de bases (S) com valores entre 4,0 e 6,0 cmolc dm^{-3} em todos horizontes. O valor V% também é um bom indicador de fertilidade, e em todos os perfis estão acima de 40%, chegando até a 80% em alguns horizontes, principalmente nos horizontes superficiais (Figura 3). A ausência de Al^{3+} no complexo sortivo e o pH próximo da neutralidade observada em todos os horizontes indicam a boa fertilidade da área. A presença de uma boa fertilidade pode ser atribuída a natureza da origem desses solos associada a baixa precipitação pluviométrica que desfavorece a lixiviação (FONTES, 2015).

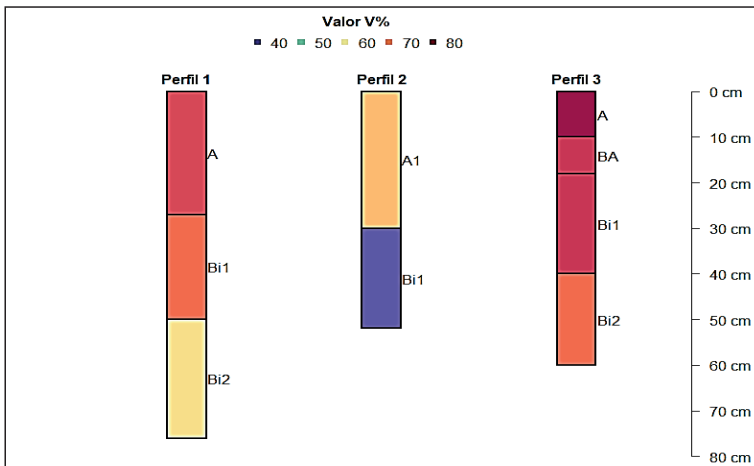



Figura 3: Variação do Valor V%, em profundidade nos perfis estudados.

Em contrapartida, os baixos índice de precipitação pluviométrica indicam um forte impedimento quanto à disponibilidade de água para todos os níveis de produtor (A, B e C).

A presença do relevo suave ondulado e um regime de chuvas restrito, porém que ocorrem de forma concentrada após o final do período seco, favorecem que o processo erosivo não ocorra de forma intensa, o que faz com que a suscetibilidade a erosão não seja um dos grandes fatores limitantes. Quanto ao impedimento a mecanização, verifica-se a presença de pedregosidade na superfície da área o que pode favorecer impedimentos a mecanização. A partir da análise de todas essas características em conjunto verifica-se que as áreas podem ser classificadas, segundo o SAAAT como classe 5n, destinadas a pastagem natural.

Apesar da fertilidade do solo não ser um fator restritivo para a utilização da área, a deficiência em água é um forte impeditivo que atinge de maneira direta a fertilidade do solo, já que solução do solo, também conhecida como fase líquida, consiste na água do solo contendo elementos minerais e ar dissolvidos nela (BATISTA et al., 2018). A partir dessa solução, as plantas absorvem não apenas água, mas também os nutrientes essenciais necessários para o seu desenvolvimento adequado, restringindo as atividades agrícolas a espécies estejam adaptadas ao ambiente semiárido do sertão do Pernambuco.

Levando em consideração também o cenário onde estão essas terras, e o tipo de atividade exercida, caprinocultura e ovinocultura de subsistência, realizada por pequenos produtores, categorizados como produtores de nível A, pode-se dizer que o uso atual está de acordo com o verificado através da análise da aptidão agrícola.

A continuidade da caprinocultura e ovinocultura, fundamentadas nas características do solo e adaptadas ao ambiente semiárido, demonstra uma utilização adequada das terras, alinhando-se com as condições estimadas pela análise de aptidão. Assim, a

implementação de manejos que causem menos impactos e preservem o bioma da caatinga, como por exemplo: separar em piquetes as áreas onde os animais tem acesso; dividir o rebanho em lotes menores fazendo a rotação entre esses piquetes; e separar o animas por categorias levando em conta sua fase de desenvolvimento. Dessa maneira conservando a biodiversidade local, sendo mais sustentáveis ecologicamente e financeiramente torna-se essencial para garantir a prosperidade da região a longo prazo.

CONCLUSÕES

A compreensão das características do solo e sua aptidão agrícola é fundamental para orientar práticas sustentáveis. Considerando o contexto econômico, social e ambiental da região, a análise destaca a importância da caatinga e a necessidade de preservação desse bioma frente às ameaças ambientais.

AGRADECIMENTOS

A CAPES, CNPq, FAPERJ, PPGA-CS, UFRRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABARELLI, Marcelo et al. **Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade**. Cienc. Cult., São Paulo. Disponivel em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000400009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 Nov. 2023.

ARAÚJO, G. G. L. **Cultivo Estratégico de forrageiras anuais e perenes visando a suplementação de caprinos e ovinos no semi-árido do Nordeste**.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, v. 3, 2013.

RAMALHO FILHO, A; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995., 1995.

SILVA, P. C. G.et al. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos**. 2010.

RAMALHO, C. I et al. **Flora arbóreo-arbustiva em áreas de Caatinga no Semi-Árido baiano**, Brasil. Revista Caatinga, v. 22, n. 3, p. 182-190, 2009.

ANDRADE, L. A. et a. **Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba**. Cerne, Lavras, V.11, n. 3, p.253-262, 2005.

LEAL, I.R. et al**. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil**. Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.

BATISTA, M. A. et al. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**, v1, n. 1, p. 114-115, 2018

INFLUÊNCIA DO ZINCO NA RESISTÊNCIA AOS CARBAPENÊMICOS EM BACTÉRIAS PROVENIENTES DE RESÍDUOS ANIMAIS

Data de aceite: 01/04/2024

Lislane Gonçalves de Almeida
Estudante de graduação em Biologia (UFRRJ)

Paula Fernanda Alves Ferreira
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do solo (UFRRJ)

Davi Chinarelli Campos
Estudante de graduação em Agronomia - Ciência do solo (UFRRJ)

Giselle Pereira de Azevedo
Estudante de graduação em Farmácia (UFRRJ)

Pablo Henrique Narciso Marques
Estudante de graduação em Agronomia - Ciência do solo (UFRRJ)

Irene da Silva Coelho
Professora do Departamento de Microbiologia e Imunologia Veterinária (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do zinco na resistência a carbapenêmicos em bactérias provenientes de resíduos animais durante o processo de compostagem. Cento e duas cepas bacterianas, isoladas durante o processo de compostagem de cama de cavalo e camas de aviário de sistema convencional e orgânico de produção, foram analisadas através de ensaio de difusão em disco para detecção de resistência fenotípica a imipenem e meropenem na presença e ausência de zinco. Dentre os 102 isolados, 29,4% foram sensíveis a imipenem na ausência de zinco e permaneceram sensíveis na presença do metal, enquanto somente 8,8% dos isolados avaliados, sendo estes todos de *Proteus mirabilis,* apresentaram resistência a imipenem na ausência de zinco e permaneceram resistentes na presença do metal. Cerca de 61,8% dos isolados apresentaram sensibilidade a imipenem e tornaram-se resistentes na presença do metal, sendo estes selecionados para serem avaliados quanto a resistência ao meropenem. Desses 63 isolados, cerca de 25,4% apresentaram sensibilidade a meropenem e tornaram-se resistentes na presença de zinco. É possível que esses isolados possuam como mecanismo de resistência a produção metalobetalactamases. Dessa forma, conclui-se que resíduos animais contêm bactérias resistentes a antimicrobianos e que o zinco influencia no comportamento da resistência bacteriana a carbapenêmicos.

PALAVRAS-CHAVE: antimicrobianos, imipenem, meropenem, metal pesado, resíduos animais.

ZINC INFLUENCE TO CARBAPENEMIC RESISTANCE IN BACTERIA FROM ANIMAL WASTE

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the influence of zinc on resistance to carbapenems in bacteria from animal waste during the composting process. One hundred and two bacterial strains, isolated during the composting process of horse litter and poultry litter from conventional and organic production systems, were analyzed using a disk diffusion assay to detect phenotypic resistance to imipenem and meropenem in the presence and absence of zinc. Among the 102 isolates, 29.4% were sensitive to imipenem in the absence of zinc and remained sensitive in the presence of the metal, while only 8.8% of the isolates evaluated, all of which were Proteus mirabilis, showed resistance to imipenem in the absence of zinc. and remained resistant in the presence of metal. Around 61.8% of the isolates were sensitive to imipenem and became resistant in the presence of the metal, and these were selected to be evaluated for resistance to meropenem. Of these 63 isolates, approximately 25.4% were sensitive to meropenem and became resistant in the presence of zinc. It is possible that these isolates have metallobetalactamase production as a resistance mechanism. Therefore, it is concluded that animal waste contains bacteria resistant to antimicrobials and that zinc influences the behavior of bacterial resistance to carbapenems.
KEYWORDS: animal waste, antimicrobials, heavy metal, imipenem, meropenem

INTRODUÇÃO

Resíduos provenientes da produção animal são amplamente utilizados na agricultura. A grande vantagem da utilização destes resíduos como fertilizantes orgânicos relaciona-se com o fornecimento de nutrientes e/ou com benefícios ligados ao seu conteúdo orgânico, que pode manter, ou mesmo elevar, o teor de matéria orgânica do solo, proporcionando benefícios ao solo e consequentemente às plantas (PIRES; MATTIAZZO, 2008). Apesar disso, se os resíduos não forem manejados de forma adequada, podem ser um veículo de contaminação ambiental pois contêm microrganismos patogênicos e determinantes de resistência a antimicrobianos.

A resistência a antimicrobianos é considerada um desafio global pela Organização Mundial da Saúde, tanto para a saúde humana quanto animal (MARTONE-ROCHA et al., 2023), devido ao seu potencial de limitar a eficácia do tratamento de doenças infecciosas, resultando no aumento da taxa de morbidade e mortalidade e no custo do tratamento. Vale ressaltar que a resistência aos antimicrobianos é um processo natural dos microrganismos, entretanto, a utilização indiscriminada desses agentes pode aumentar a sua seleção. Outro fator que pode contribuir para a persistência da resistência bacteriana a antimicrobianos é o acúmulo de metais pesados no solo, como o zinco. Esse acúmulo, por muitas vezes, ocorre devido ao uso recorrente e em excesso de insumos agrícolas, como defensivos agrícolas e fertilizantes químicos (MINARI et al., 2017).

A resistência a antimicrobianos é frequentemente associada a resistência a metais pesados. No ambiente, a pressão seletiva pela presença de metais pesados contribui para a co-seleção direta de resistência aos antimicrobianos. Segundo YAZDANKHAH et al. (2018), esse fenômeno já foi bastante relatado na literatura e pode ocorrer por mecanismos de co-resistência e resistência cruzada.

Considerando que metais pesados como o zinco e determinantes de resistência aos antimicrobianos estão presentes no solo, e que a utilização de resíduos animais na agricultura pode incrementar ainda mais tais contaminantes, causando alterações no ecossistema e constituindo um grave potencial de ameaça para a saúde pública, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do zinco na resistência a carbapenêmicos em bactérias provenientes de resíduos animais durante o processo de compostagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Cento e duas cepas bacterianas foram isoladas durante o processo de compostagem de cama de aviário convencional (CAC), cama de aviário orgânico (CAO) e cama de cavalo (CC) (FERREIRA et al., 2021). Após o isolamento, as cepas foram identificadas pela técnica MALDI-TOF no Laboratório Integrado de Microbiologia (LIM), Instituto de Microbiologia Paulo Góes da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e, em seguida, foi realizado o ensaio de difusão em disco para detecção fenotípica da resistência aos antimicrobianos da classe dos carbapenêmicos na presença de zinco, conforme os padrões estabelecidos pelo Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (BRCAST, 2017).

A concentração de zinco utilizada neste experimento foi determinada a partir do experimento de concentração inibitória mínima dessas bactérias ao zinco, realizado por SALDANHA (2023). Assim, foi utilizada a concentração de 0,36 $g.L^{-1}$ de zinco, sendo esta a concentração anterior a que apresentou inibição do crescimento bacteriano (0,72 $g.L^{-1}$). Para o teste de difusão em disco foi preparado um inóculo contendo 1,5 x 10^8 células/mL, ajustados segundo a escala 0,5 de McFarland. Essa suspensão bacteriana (0,1 mL) foi distribuída por toda a superfície de placas de ágar Mueller Hinton com e sem a presença de zinco, onde foram depositados discos dos antimicrobianos. Após incubação por 18 horas a 35 ºC, os diâmetros dos halos formados ao redor dos discos foram medidos, em milímetros. Para interpretação dos resultados foram considerados os pontos de corte estabelecidos pelo Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing e Clinical and Laboratory Standards Institute (BRCAST, 2019).

Inicialmente, as 102 cepas foram avaliadas quanto a resistência ao imipenem (IMP) na presença e ausência de zinco. Após resultado, foram selecionadas somente as cepas que tornaram-se resistentes ao imipenem na presença de zinco para serem avaliadas quanto a resistência ao meropenem (MER) na presença e ausência de zinco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os 102 isolados, 29,4% (30/102) foram sensíveis a imipenem na ausência de zinco e permaneceram sensíveis na presença do metal (Tabela 1). Estes isolados pertencem à sete espécies, sendo elas, *Enterobacter cloacae* (10%, 1/10), *Escherichia coli* (14%, 5/37), *Klebsiella aerogenes* (100%, 3/3), *Klebsiella pneumoniae* (81%, 13/16), *Klebsiella variicola* (100%, 2/2), *Proteus mirabilis* (14%, 3/21) e *Serratia marcescens* (100%, 3/3) (Tabela 1). Somente 8,8% (9/102) dos isolados, todos pertencentes à espécie *Proteus mirabilis,* apresentaram resistência a imipenem na ausência de zinco e permaneceram resistentes na presença do metal (Tabela 1). Cerca de 61,8% (63/102) dos isolados apresentaram sensibilidade a imipenem na ausência do zinco e tornaram-se resistentes na presença do metal, sendo estas *Citrobacter freundii* (100%, 1/1), *Enterobacter asburiae* (100%, 3/3), *Enterobacter cloacae* (90%, 9/10), *Enterobacter kobei* (100%, 1/1), *Escherichia coli* (87%, 32/37), *Klebsiella pneumoniae* (19%, 3/16), *Proteus mirabilis* (43%, 9/21), *Providencia stuartii* (100%, 1/1), *Acinetobacter baumannii* (100%, 1/1) e *Pseudomonas aeruginosa* (100%, 3/3) (Tabela 1). Nenhum dos isolados se tornou sensível na presença de zinco quando comparado ao controle, ou seja, na ausência do zinco (Tabela 1).

Tabela 1: Percentagem de bactérias que tornaram-se resistentes (R - cinza) e sensíveis (S - verde) aos carbapenêmicos na presença de zinco e bactérias que permaneceram resistentes (R - azul) e sensíveis (S -rosa) na presença e ausência do zinco. Isolados que tornaram-se resistentes a imipenem na presença de zinco foram testados quanto a resistência a meropenem.

	N	IMIPENEM				N	MEROPENEM			
		R	S	R	S		R	S	R	S
Citrobacter freundii	1	100	*	*	*	1	100	*	*	*
Enterobacter asburiae	3	100	*	*	*	3	67	*	*	33
Enterobacter cloacae	10	90	*	*	10	9	45	11	22	22
Enterobacter kobei	1	100	*	*	*	1	100	*	*	*
Escherichia coli	37	87	*	*	13	32	*	3	9	88
Klebsiella aerogenes	3	*	*	*	100	*	*	*	*	*
Klebsiella pneumoniae	16	19	*	*	81	3	67	*	33	*
Klebsiella variicola	2	*	*	*	100	*	*	*	*	*
Proteus mirabilis	21	43	*	43	14	9	56	11	11	22
Providencia stuartii	1	100	*	*	*	1	*	*	100	*
Acinetobacter baumannii	1	100	*	*	*	1	*	*	100	*
Pseudomonas aeruginosa	3	100	*	*	*	3	33	33	33	*
Serratia marcescens	3	*	*	*	100	*	*	*	*	*
TOTAL DE ISOLADOS (n)	102	63	0	9	30	63	16	4	10	33
TOTAL DE ISOLADOS (%)	100	61,8	0	8,8	29,4	100	25,4	6,3	15,9	52,4

*N = número de isolados

Dos 102 isolados bacterianos, 63 se tornaram resistentes a imipenem na presença de zinco e, estes foram selecionados para serem avaliados quanto a resistência ao meropenem. O imipenen, meropenem e ertapenem são antimicrobianos da classe dos carbapenêmicos e adentram a célula bacteriana através de proteínas transmembranas chamadas porinas, e possuem ação bactericida ao inibir a síntese da parede celular ligando-se a proteínas ligantes de penicilinas (PBPs) (BASSETTI et al., 2009). Entretanto, o meropenem oferece a melhor combinação entre sensibilidade e especificidade em termos de detecção de produtores de carbapenemase e é mais eficiente contra bactérias gram-negativas devido à presença de um anel de pirrolidina no carbono 2 (BRCAST, 2018).

Das 63 cepas bacterianas testadas quanto a resistência a meropenem, 52,4% (33/63) foram sensíveis a este carbapenêmico na ausência de zinco e permaneceram sensíveis na presença do metal, com destaque para *E. coli* (88%, 28/32), enquanto 15,9% (10/63) apresentaram resistência a meropenem na ausência de zinco e permaneceram resistentes na presença do metal. Pitkin et al. (1997), relata que o carbapenêmico meropenem possui uma atividade *in vitro* superior a imipenem contra bactérias gram-negativas, como é o caso do presente estudo onde todas as bactérias avaliadas são gram negativas.

Cerca de 25,4% (16/63) dos isolados apresentaram sensibilidade a meropenem e tornaram-se resistentes na presença do metal. Estes isolados pertencem à *Citrobacter freundii* (100%, 1/1), *Enterobacter asburiae* (67%, 2/3), *Enterobacter cloacae* (45%, 4/9), *Enterobacter kobei* (100%, 1/1), *Klebsiella pneumoniae* (67%, 2/3), *Proteus mirabilis* (56%, 5/9) e *Pseudomonas aeruginosa* (33%, 1/3). Apenas 6,3% (4/63) se tornaram sensíveis a meropenem na presença de zinco quando comparado ao controle, ou seja, na ausência do zinco, sendo estes isolados de *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis* e *Pseudomonas aeruginosa.* Na presença de zinco, os isolados de *Citrobacter freundii* e *Enterobacter kobei* tornaram-se resistentes tanto a imipenem como meropenem. Além destes, muitos isolados já apresentavam resistência a estes carbapenêmicos mesmo na ausência do metal.

A resistência bacteriana a carbapenêmicos pode ocorrer através de bombas de efluxo, mutações que alteram a expressão e/ou funcionamento das porinas e proteínas ligantes de penicilinas, ou através da aquisição de enzimas betalactamases que hidrolisam os carbapenêmicos (PAPP-WALLACE et al., 2011). Essas enzimas são chamadas carbapenemases e dentro das betalactamases elas dividem-se em dois grupos, sendo as serina-betalactamases, como KPC e OXA-48 e, as metalo-betalactamases, como VIM, NDM e IMP. As metalo-betalactamases (MBLs) hidrolisam uma ampla gama de antimicrobianos, exceto os monobactâmicos e, necessitam de íons de zinco como cofator de sua atividade catalítica (MURPHY et al., 2003). A partir disso, especula-se que as bactérias que mantiveram a resistência (10/63) ou tornaram-se resistentes (16/63) a meropenem na presença de zinco, possuem como mecanismo de resistência a produção de MBLs. Porém, o mecanismo relacionado à resistência das bactérias aos carbapenêmicos ainda será elucidado.

Diante do exposto, fica evidente que resíduos animais contêm bactérias resistentes a antimicrobianos como os carbapenêmicos e, quando esses resíduos animais são utilizados como fertilizantes orgânicos, podem contaminar os solos. A presença de metais pesados como o zinco no solo pode favorecer a persistência das bactérias resistentes e favorecer sua transferência para bactérias comensais e patogênicas de humanos e animais, o que pode resultar em risco a saúde pública.

CONCLUSÕES

Resíduos animais contêm bactérias resistentes a carbapenêmicos e o zinco influência o comportamento da resistência bacteriana, podendo fazer com que bactérias sensíveis tornem-se resistentes e bactérias resistentes tornem-se sensíveis na presença desse metal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSETTI, M. et al. Current Status of Newer Carbapenems. **Current Medicinal Chemistry**, v. 16, n. 5, p. 564–575, 2009.

BRCAST. **Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing.** Orientações do EUCAST para a detecção de mecanismos de resistência e resistências específicas de importância clínica e/ou epidemiológica. São Paulo. 2018.

BRCAST. **Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing.** Tabelas de pontos de corte para interpretação de CIMs e diâmetros de halos. 2019.

BRCAST. **Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing.** Teste sensibiliadade aos antimicrianos Método de disco-difusão EUCAST. Versão 6.0, 2017.

FERREIRA, P. F. A. et al. Effect of composting on the microbiological and parasitic load in animal production wastes in Brazil. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, v. 10, n. 3, p. 265-273, 2021.

MARTONE-ROCHA, S. et al. Antimicrobial profile of non-typhoidal Salmonella isolated from raw sewage in the Metropolitan Region of São Paulo, Brazil. **The Journal of Infection in Developing Countries**, v. 17, n. 01, p. 86-92, 2023.

MINARI, G. D. et al. Agricultural management of an Oxisol affects accumulation of heavy metals. **Chemosphere**, v. 185, n. , p. 344-350, 2017.

MURPHY, T. A. et al. Biochemical Characterization of the Acquired Metallo-β-Lactamase SPM-1 from Pseudomonas aeruginosa. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v. 47, n. 2, p. 582–587, 2003.

PAPP-WALLACE, K. M. et al. Carbapenems: Past, Present, and Future. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v. 55, n. 11, p. 4943–4960, 2011.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura. **Embrapa Meio Ambiente-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2008.

PITKIN, D. H.; SHEIKH, W.; NADLER, H. L. Comparative In Vitro Activity of Meropenem Versus Other Extended-Spectrum Antimicrobials Against Randomly Chosen and Selected Resistant Clinical Isolates Tested in 26 North American Centers. **Clinical Infectious Diseases**, v. 24, n. supl. 2, p. S238–S248, 1997.

SALDANHA, G. R. **Perfil de resistência a metais pesados em bactérias provenientes de cama de aviário de diferentes sistemas de produção.** 2023. 30p. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2021.

YAZDANKHAH, S.; SKJERVE, E.; WASTESON, Y. Antimicrobial resistance due to the content of potentially toxic metals in soil and fertilizing products. **Microbial Ecology in Health and Disease**, v. 29, n. 1, p. 1548248, 2018.

SUBSTÂNCIA HÚMICA E SEU POTENCIAL EM PROMOVER BIOMASSA VEGETAL

Data de aceite: 01/04/2024

Luana de Lima de Almeida
Estudante de graduação em Engenharia Florestal (UFRRJ)

Leonardo Santos da Silva
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Franciele de Souza Rocha
Estudante de graduação em Engenharia Florestal (UFRRJ)

Yan Miranda Mostacada Ramalho
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Hellen Fernanda Oliveira da Silva
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (UFRRJ)

Andrés Calderín García
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de substâncias húmicas (SH) extraídas de vermicomposto adicionadas em solução mineral nutritiva, e diferentes tempos de avaliação, na produção de biomassa fresca e seca de plantas de arroz. As plantas foram cultivadas em vasos com areia previamente lavada e auto-clavada, em casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com nove concentrações de SH, 0 (controle), 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 e 100 mg SH L^{-1}, e quatro tempos de avaliação, 72 h, 96 h, 120 h e 144 h, com cinco repetições. Em cada avaliação, parte aérea e raiz foram separadas e pesadas para obter a massa fresca, em balança analítica. Posteriormente, o material foi colocado em forno Pasteur por 72 h a 60 °C, para obter a massa seca. As diferentes doses de SH influenciaram positivamente no crescimento da parte aérea e da raiz. Entretanto, a máxima concentração de SH (100 mg SH L^{-1}), no último tempo de avaliação (144 h), influenciou negativamente, indicando efeito inibitório no crescimento da planta, provavelmente devido ao acúmulo de SH na parede celular das raízes, ocasionando a obstrução do transporte de água e nutrientes. Conclui-se que uma resposta rápida e com uma intensidade maior promovida pela ação das SH de vermicomposto representaria uma maior eficiência no crescimento da parte aérea e raiz, desde que as plantas não sejam submetidas a doses excessivas de tais substâncias.

PALAVRAS-CHAVE: bioatividade, húmus, massa fresca, massa seca.

HUMIC SUBSTANCE AND ITS POTENTIAL IN PROMOTING PLANT BIOMASS

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the effect of different concentrations of humic substances (SH) at different collection intervals. For this, the experiment was conducted in a greenhouse and the plants were grown in pots with previously washed and autoclaved sand. The experimental design was in randomized blocks with nine concentrations of SH, 0 (control), 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80, and 100 mg SH L^{-1}, and four collection intervals, 72 h, 96 h , 120 h, and 144 h, with five repetitions. Collections were carried out at 24-hour intervals, where the aerial part and root system were separated and weighed on an analytical balance to obtain the fresh mass. Then, the material was placed in a Pasteur oven for 72 h at 60 °C, until it stabilized to obtain the dry mass. The different doses of SH positively influenced the growth of both the aerial part and the root system. However, the maximum concentration of SH (100 mg SH L^{-1}) influenced a decline at the last collection time (144 h), indicating an inhibitory effect on plant growth, probably due to accumulation in the root cell wall, causing obstruction of water and nutrient transport. It is concluded that a rapid response with greater intensity promoted by the action of SH extracted from vermicompost would represent greater efficiency in the growth of the aerial part and root system, as long as they are not subjected to excessive doses of such substances.
KEYWORDS: bioactivity, dry mass, fresh mass, humus.

INTRODUÇÃO

A vermicompostagem é considerada uma prática altamente sustentável, em que se verifica a transformação da matéria orgânica através da ação combinada das minhocas e microrganismos que vivem em seu trato digestivo. Estra microbiota promove a maior estabilização dos resíduos, os quais sofrem reações enzimáticas adicionais que os convertem de forma acelerada em substâncias húmicas. Essa técnica permite um menor uso de insumos e possibilita uma produção ecologicamente mais equilibrada.

As Substâncias Húmicas (SH) expressam muitos efeitos benéficos direta e indiretamente no desenvolvimento das plantas. Os efeitos diretos estão associados às modificações que a SH promove em diferentes processos e rotas metabólicas das plantas, por meio de interações que estabelecem com os distintos tecidos vegetais (BERBARA; GARCÍA, 2014). Já os efeitos indiretos estão atrelados ao papel que as SH podem exercer na fertilidade do solo e, assim, favorecer os processos nutricionais das plantas como: maior absorção de nutrientes, aumento da população microbiana e da capacidade de troca catiônica (CTC), poder tampão dos nutrientes no solo, fornecimento de compostos químicos específicos para o vegetal (CAVENDER et al., 1990).

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos promovidos pelo uso de diferentes concentrações de SH, na sua forma íntegra extraída de vermicomposto, que foram adicionadas à solução mineral nutritiva, e diferentes tempos de avaliação, na produção de biomassa fresca e seca da parte aérea e da raiz de plantas de arroz (*Oryza sativa* L. cv. BRS Esmeralda).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado para determinar em plantas de arroz em casa de vegetação, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. Na região, o clima é tropical ou do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen e Geiger, com temperatura média anual de 23,5 °C.

As sementes de arroz foram desinfestadas com hipoclorito de sódio (2%) acrescido de 5 gotas/L de Tween™ 20, por 20 minutos. Em seguida, foram lavadas com água destilada diversas vezes e semeadas em água destilada. Quatro dias após a semeadura, aplicou-se solução de Hoagland modificada para ¼ da força iônica (f.i.) ao substrato (Hoagland e Arnon, 1950). Passados três dias desta etapa, realizou-se o transplante das plântulas (Figura 1). Neste momento, foram inseridas quatro plântulas em cada unidade experimental, que se constituiu de um vaso plástico com capacidade de 700 mL, contendo areia previamente lavada e autoclavada. A partir daí, as plântulas passaram a receber uma nova solução de Hoagland modificada à ½ f.i. A troca desta solução foi realizada a cada três dias, no decorrer do experimento. Quatro dias após a aclimatação aos nutrientes da solução com ½ f.i., as plantas foram submetidas a nove diferentes concentrações de SH, 0, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 e 100 mg L^{-1}, as quais foram dissolvidas na própria solução nutritiva, com ajuste do pH para 5,5.

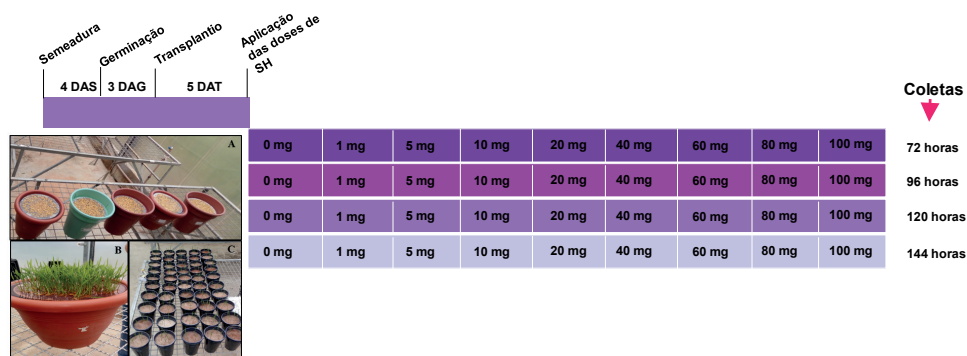



Figura 1: Linha do tempo da montagem experimental com plantas de arroz submetidas às diferentes concentrações de substâncias húmicas, com avaliações em diferentes tempos. A- Fase experimental em dias após a semeadura (DAS); B- Fase experimental em dias após germinação (DAG); C- Fase experimental em dias após transplantio (DAT).

As avaliações ou coletas foram realizadas em quatro tempos diferentes, 72, 96, 120 e 144 horas (Figura 1). Nos respectivos tempos, individualizou-se a raiz, que foi lavada para total remoção do substrato, da parte aérea, e determinou-se a produção de matéria de biomassa fresca de cada um destes materiais, em balança analítica. A seguir, os materiais foram destinados ao forno Pasteur com circulação forçada de ar. Após 72 horas de secagem à temperatura de 60 ± 5 °C, obteve-se a matéria de biomassa seca, em balança analítica.

O delineamento experimental foi em blocos casualisados e contou com nove concentrações de SH e quatro tempos diferentes de avaliações, com cinco repetições, totalizando 180 unidades experimentais. Os dados de biomassa fresca e seca de parte aérea e raiz foram submetidos à ANOVA e análise de regressão linear, através da versão 1.7.1 do Programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização da solução nutritiva incrementada com as concentrações de SH extraídas a partir de vermicomposto favoreceu o desenvolvimento tanto da parte aérea como da raiz. A produção da biomassa fresca e seca de ambas as partes (Figura 2) apresentou aumento progressivo à medida em que aumentaram as concentrações de SH e o tempo de avaliação do efeito das mesmas às plantas de arroz.

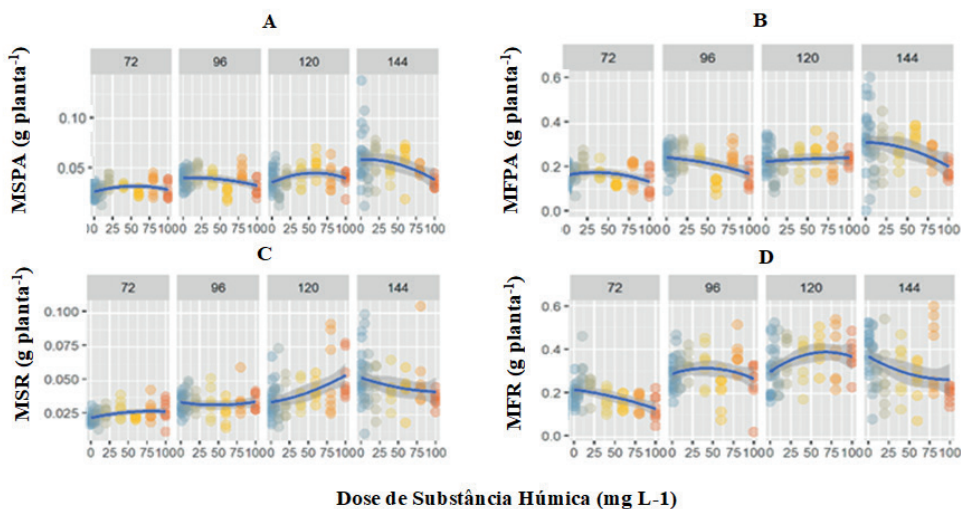



Figura 2: Efeito da aplicação de concentrações crescentes de substâncias húmicas, na sua forma íntegra extraída de vermicomposto, sobre a biomassa produzida por plantas de arroz, em quatro tempos distintos. A- Massa Seca da Parte Aérea (MSPA); B- Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA); C- Massa Seca da Raiz (MSR) e D- Massa Fresca da Raiz (MFR).

VAUGHAN et al. (1985 apud ROSA et al., 2009) correlaciona o aumento da absorção de nutrientes pelas plantas à influência das SH na permeabilidade da membrana celular. Esses resultados estão em consonância com os de outros autores que também observaram maior crescimento de raízes de azevém em solução nutritiva acrescida de substâncias húmicas, em doses de 10 e 20 mg L^{-1} de C (SILVA et al., 2000).

ROSA et al. (2009) encontraram resposta linear na produção de biomassa seca da raiz do feijoeiro, com a aplicação de doses crescentes de SH extraídas de carvão.

Segundo ROSA et al. (2009), as plantas crescem e se desenvolvem intrinsecamente em contato com tais substâncias, pois estas modificam diretamente o metabolismo bioquímico das plantas, geralmente correlacionadas a constituintes inorgânicos do solo. Os efeitos tipicamente auxínicos abordados por alguns autores são refletidos na intensificação das taxas de crescimento radicular, promoção do incremento da biomassa vegetal e alterações na arquitetura da raiz.

De acordo com alguns estudos, a humificação de um material orgânico oriundo de vermicompostagem apresenta uma determinada atividade hormonal (MUSCOLO et al., 1999; CANELLAS et al., 2002). SZE (1985) afirmou que a provável presença de substâncias indutoras de crescimento radicular do tipo auxinas no humato de vermicomposto influencia positivamente o desenvolvimento de raízes, induzindo a atividade de hidrólise de ATP da membrana plasmática, acarretando uma maior acidificação do apoplasto e energização dos transportadores de íons. Com base na teoria do crescimento ácido, o bombeamento de prótons H^+ e a acidificação do apoplasto podem beneficiar o processo de elongamento celular (RAYLE;CLELAND, 1992). É possível inferir que estas substâncias demonstram efeitos positivos sobre o metabolismo das plantas, estimulando o alongamento radicular.

Os resultados demonstraram que os tratamentos de 40 e 60 mg L^{-1} foram eficientes em promover um incremento significativo no desenvolvimento radicular, apresentando uma resposta quadrática à adição de SH, nos tempos de avaliação.

Entretanto, foi possível detectar no presente trabalho que a máxima dosagem (100 mg L^{-1}) apresentou influência negativa, ou seja, declínio significativo quando avaliado no último tempo de submissão das plantas ao tratamento (às 144 h), quando comparado aos demais. Em detrimento disso, tal efeito pode ser justificado pelo fato de que concentrações demasiadas de ácido húmico podem provocar uma obstrução das raízes, acarretando distúrbios de maior intensidade nas plantas e, consequentemente, desacelerando o crescimento, de acordo com BERBARA;GARCÍA (2014).

CONCLUSÕES

Os dados permitem concluir que as SH isoladas de vermicomposto na sua forma íntegra, nas concentrações de 40 e 60 mg L^{-1}, foram eficientes ao promoverem as melhores respostas quanto ao parâmetro da produção de biomassa fresca e seca de parte aérea e raiz em plantas de arroz. Além disso, uma resposta rápida e com uma intensidade maior promovida pela ação das SH representaria uma maior eficiência no crescimento da parte aérea e radicular, desde que as plantas de arroz não sejam submetidas a doses excessivas (100 mg L^{-1}) de tais substâncias, pelo tempo de 144 h.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (PPGA-CS, UFRRRJ), pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) - Brasil, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil, e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERBARA, R.L.; GARCÍA, A.C. Humic substances and plant defense metabolism. In: AHMAD, P.; WANI, M.R., editors. **Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment.** New York: Springer; 2014. p. 297-319.

CANELLAS, L.P. et al. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H+-ATPase activity in maize roots. **Plant Physiology**, v. 130, p. 1951-1957, 2002.

CAVENDER, N.D.; ATIYEH, R.M.; EDWARDS, C.A. Influence of vermicomposts an arbuscular mycorrhizal infection of Sorghum bicolor and plant growth. In: 2nd INTERNATIONAL SOIL ECOLOGY CONFERENCE, 2., Chicago, 1990. **Anais**. Chicago, 1990. p.23.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soils Berkeley: **California Agricultural Experimental Station**, p. 347, 1950.

MUSCOLO, A. et al. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 1303-1311,1999.

R Development Core Team (2011) R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística. Fundação R para Computação Estatística, Viena. http://www.R-project.org

RAYLE, D.L.; CLELAND, R.E. The acid growth theory of auxin-induced cell elongation is alive and well. **Plant Physiology**, v. 99, p. 1271-1274, 1992.

ROSA, C.M. et al. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 959-967, 2009.

SILVA, R.M. et al. Desenvolvimento das raízes do azevém cultivado em solução nutritiva completa, adicionada de substâncias húmicas, sob condições de casa de vegetação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29, 2000, Botucatu. **Anais**... Botucatu: FMVZUNESP-SBZ, 2000. p.1623-1631.

SZE, H. H+-Translocating ATPases: advances using membrane vesicles. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 36, p. 175-208, 1985.

VAUGHAN, D.; MALCOLM, R.E. Influence of humic substances on growth and physiological processes. In: VAUGHAN, D.; MALCOLM, R.E., eds. **Soil organic matter and biological activity**. Dordrecht, Martins Nijihoff Dr W. Junk Publisher, 1985. p. 37-75.

CAPÍTULO 40

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA DESINFESTAÇÃO E NO DESENVOLVIMENTO DE EXPLANTES DE LÚPULO (*HUMULUS LUPULUS*) EM CULTIVO *IN VITRO*

Data de aceite: 01/04/2024

Lucas Augusto Silva dos Santos
Estudante de graduação em Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Mariana Gonçalves Santos
Estudante de graduação em Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Andressa Fabiane Faria de Souza
Doutora em Agronomia – Ciência do Solo (IA/UFRRJ)

Carlos Alberto Bucher
Professor Adjunto do Departamento IA-DAS (UFRRJ)

Cassia Pereira Coelho Bucher
Pesquisador da Empresa Biohopss Biotecnologia LTDA (BIOHOP)

RESUMO: As biofábricas de cultivo in vitro conseguem produzir mudas de lúpulo sob condições controladas, garantindo uma melhoria no rendimento, além de manter um controle fitossanitário das mudas produzidas. A grande problemática do cultivo *in vitro* são as contaminações endofíticas que podem ocorrer (Esposito-Polesi et al., 2015). É possível perceber contaminações por fungos e bactérias em diversas culturas que são micropropagadas, podendo prejudicar o desenvolvimento das plantas, além de ocasionar desperdício de reagentes e tempo ao ter que realizar o descarte do material. Com base no exposto, o objetivo da pesquisa foi analisar a influência da temperatura no desenvolvimento das plantas e na proliferação de fungos e bactérias no cultivo *in vitro* para otimização do protocolo de inoculação de plantas de lúpulo (*Humulus lupulus*), com o intuito de reduzir a porcentagem de contaminação nos processos laboratoriais de micropropagação.
PALAVRAS-CHAVE: contaminação endofítica, inoculação de plantas, micropropagação

ABSTRACT: *In vitro* cultivation biofactories are able to produce hop seedlings under controlled conditions, guaranteeing an improvement in yield, as well as maintaining phytosanitary control of the seedlings produced. The major problem with *in vitro* cultivation is the endophytic contamination that can occur (Esposito-Polesi et al., 2015). It is possible to see contamination by fungi and bacteria in various cultures that are micropropagated, which can harm the development of the plants, as well as

causing a waste of reagents and time when the material has to be discarded. Based on the above, the aim of this research was to analyze the influence of temperature on plant development and the proliferation of fungi and bacteria in in vitro cultivation in order to optimize the inoculation protocol for hop plants (*Humulus lupulus*), with the aim of reducing the percentage of contamination in laboratory micropropagation processes.
KEYWORDS: contamination. Micropropagation, endophytic, plant inoculation

INTRODUÇÃO

Com o Brasil ocupando a terceira posição dos países que mais consomem cerveja no mundo (KIRIN HOLDINGS COMPANY, 2021), a produção de uma das matérias-primas da cerveja é de grande importância comercial no país. Com quase 100% do insumo sendo importado, dados do APROLÚPULO (2023) mostraram um salto de crescimento na produção brasileira de lúpulo da ordem de 160% de 2020 para 2021, competindo com o mercado internacional em termos de qualidade do produto. As biofábricas de cultivo *in vitro* são capazes de produzir mudas de lúpulo em condições controladas, garantindo melhores rendimentos, além de manter o controle fitossanitário das mudas produzidas. O grande problema do cultivo *in vitro* é a contaminação endofítica que pode ocorrer (ESPOSITO-POLESI et al., 2015). A contaminação por fungos e bactérias pode ser observada em muitas culturas micropropagadas, o que pode prejudicar o crescimento das plantas, além de causar um desperdício de reagentes e tempo quando o material tem que ser descartado. Vários autores têm relatado a influência da temperatura na fisiologia das plantas. Em condições naturais, as plantas são expostas ao frio e ao calor, afetando suas atividades fisiológicas e consequentemente seu crescimento, a fim de sobreviverem e perpetuarem suas espécies (FENOLLOSA et al., 2018). Plantas de abacaxi (*Ananas comosus L.*) micropropagadas in vitro foram cultivadas em diferentes condições de temperatura, sendo que 28°C/15°C (claro/escuro) apresentaram maior crescimento em relação à temperatura constante de 28°C (NIEVOLA et al., 2005). Com base no exposto, o objetivo desta investigação foi analisar a influência da temperatura na proliferação de fungos e bactérias no meio de cultura *in vitro*, bem como avaliar a temperatura óptima para um maior crescimento dos explantes, a fim de otimizar o protocolo de inoculação de plantas de lúpulo (*Humulus lupulus*), com o objetivo de reduzir a percentagem de contaminação nos processos de micropropagação em laboratório.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o experimento, os explantes utilizados para a cultura in vitro foram colhidos de uma planta matriz de lúpulo da variedade Comet cultivada em estufa. Os explantes das regiões nodais foram desinfectados de duas formas. I: os explantes foram expostos a hipoclorito diluído em 1L de água destilada durante 15 minutos. II: os

explantes também foram expostos ao hipoclorito diluído em 1L de água destilada por 15 minutos, seguido de lavagem com álcool 70% e hipoclorito de sódio com 0,5% de cloro ativo por 10 minutos. Em ambos os tratamentos, os explantes foram lavados com água destilada estéril por pelo menos 5x para remover resíduos dos reagentes utilizados. Após a desinfestação, os explantes foram inoculados em meio MS padrão e foram testadas as seguintes temperaturas: 15ºC, 24ºC e 28ºC, em ambos os tratamentos de desinfestação, sob fotoperíodo de 16 horas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 24 repetições para cada temperatura (3) e cada tratamento de desinfestação (2) (n=144). O experimento foi avaliado ao final de 21 dias quanto ao crescimento dos explantes, presença/ausência de folhas, presença/ausência de contaminação e diâmetro do caule (mm). O diâmetro foi analisado com um paquímetro digital.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o método de desinfestação I, observou-se uma maior porcentagem de contaminação para as temperaturas analisadas, onde 15°C e 24°C apresentaram 100% de contaminação e nenhuma taxa de crescimento, enquanto que a 28°C, embora tenha havido 96% de contaminação, os explantes apresentaram 38% de crescimento vegetal, com 38% de presença de folhas e o diâmetro do caule dos explantes foi de 0,38mm.

Para o método de desinfestação II, a taxa de contaminação dos explantes foi menor em ambas as temperaturas. A uma temperatura de 15°C, foi observada uma taxa de contaminação de 38%, com 13% de crescimento, 8% de presença de folhas e um diâmetro de 0,25mm. Os explantes a 24°C apresentaram uma taxa de contaminação maior em relação à temperatura anterior (67%), mas houve um crescimento de 21%, a taxa de presença de folhas foi de 17% e o diâmetro foi de 0,32mm. Na última temperatura avaliada, 28°C, a percentagem de contaminação foi de cerca de 54%, e os explantes apresentaram uma taxa de crescimento de 50%, com 50% de presença de folhas, e um diâmetro de 0,51mm. Segundo os autores DOMINGUES-JUNIOR et al. (2019) a variação de temperatura, seja ela brusca ou gradual, é capaz de modificar os níveis de expressão gênica, bem como o metabolismo do carbono, foi observado que as espécies de eucalipto, *E. grandis* e *E. globulus*, apresentaram metabolismo do carbono e crescimento vegetativo diferentes quando expostas a uma temperatura de 10°C.

O frio pode causar alterações no metabolismo primário, o que influencia o crescimento vegetativo das plantas. Neste estudo, observou-se que, apesar de haver uma menor taxa de contaminação do meio de cultura a baixas temperaturas, houve também um menor crescimento dos explantes. Quando expostos a temperaturas de 24°C e 28°C, os explantes apresentaram um melhor desenvolvimento.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados, foi possível concluir que o método de desinfestação I foi ineficaz, com 100% dos explantes a apresentarem contaminação, crescimento reduzido e ausência de folhas. O método de desinfestação II apresentou uma menor taxa de contaminação, levando a um maior crescimento dos explantes. Além disso, foi possível observar que a etapa de desinfestação associada a uma temperatura adequada favoreceu um maior crescimento das plantas de lúpulo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio financeiro da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), da Incubadora de Empresas em Agronegócio da UFRRJ (INEAGRO) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (FAPERJ) e da startup incubada na UFRRJ: BioHop.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APROLÚPULO. **Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo.** 2023. Disponível em: https://aprolupulo.com.br/noticia/lupulo-e-incluido-no-programa-moderagro-e-ganha-impulso-para-acelerar-crescimento. Acessado em: 27 de ago. 2023.

DOMINGUES-JUNIOR, A. P.; DALOSO, D. M.; MACHADO, M.; ROSADO-SOUZA, L.; SOUZA, L. P.; FERNIE, A. R.; MAZZAFERA, P. **A cold change: how short low temperature exposure affects primary metabolism in leaves and stems of two eucalyptus species.** Theoretical and Experimental Plant Physiology, v. 31, p. 429-444, 2019.

ESPOSITO-POLESI, N. P. **Microrganismos endofíticos e a cultura de tecidos vegetais: quebrando paradigmas.** Revista Brasileira de Biociências, v. 9, p. 533-541, 2011.

FENOLLOSA, E.; GÁMEZ, A.; MUNNÉ-BOSCH, S. **Plasticity in the hormonal response to cold stress in the invasive plant Carpobrotus edulis.** Journal of Plant Physiology, v. 231, p. 202-209, 2018.

KIRIN HOLDINGS. **Global Beer Consumption by Country in 2021.** Disponível em: https://www.kirinholdings.com/en/newsroom/release/2022/1223_01.html. Acessado em: 27 de ago. 2023.

NIEVOLA, C. C.; KRAUS, J. E.; FRESCHI, L.; SOUZA, B. M.; MERCIER, H. **Temperature determines the occurrence of CAM or C3 photosynthesis in pineapple plantlets grown in vitro.** In Vitro Cellular & Developmental Biolology.-Plant, v. 41, p. 832-837, 2005.

ESTOQUES DE C E N EM ORGANOSSOLOS FÓLICOS DO PARQUE NACIONAL DE ITATIAIA, RJ

Data de aceite: 01/04/2024

Luciele Hilda da Silva Miranda
Estudante de graduação em UFRRJ

João Pedro Comendouros Scott
Estudante de graduação em UFRRJ

Alice Maria Goulart Ribeiro
Estudante de graduação em UFRRJ

Melania Merlo Ziviani
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo UFRRJ

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos UFRRJ

Lúcia Helena Cunha dos Anjos
Professora do Departamento de Solos UFRRJ

RESUMO: Uma importante função dos Organossolos é a sua capacidade de estocar C e N, essa tarefa contribui para a regulação dos gases de efeito estufa na atmosfera. Sabendo da função desses solos, esse estudo teve como objetivo quantificar os estoques de C e N de Organossolos Fólicos do Parque Nacional de Itatiaia (PNI) a partir da densidade do solo obtida através das funções de pedotransferência (FPTs) e avaliar como essas variáveis estão correlacionadas com os objetivos de desenvolvimento sustentáveis (ODS) da (ONU). Para isso foi utilizada uma função de pedotransferência para calcular a densidade do solo. Em seguida foram calculados os estoques de C e N em seis perfis até 30 cm de profundidade, sendo eles: três Organossolos Fólicos Sápricos (OOs) e três Organossolos Fólicos Hêmicos (OOy). Observou-se maior valor no estoque de carbono no perfil Oostipico2 (280,37 Mg ha^{-1}) e menor valor no perfil OOstipico1 (160,34 Mg ha^{-1}). Para o estoque de nitrogênio, o maior valor foi observado no perfil OOstipico2 (16,79 Mg ha^{-1}) e o menor valor, no perfil OOylitico2 (9,49 Mg ha^{-1}). Os resultados mostram que os estoques de carbono são maiores nos Organossolos Fólicos Sápricos quando comparados aos Organossolos Fólicos hêmicos. Isso indica uma maior estabilidade na MO presentes nos OOs e uma maior profundidade nesses perfis.

PALAVRAS-CHAVE: horizonte hístico, pedotransferência, solos frágeis

STOCKS OF C AND N IN FOLLIC ORGANOSOLS OF ITATIAIA NATIONAL PARK, RJ

ABSTRACT: An important function of Organossolos is their ability to store C and N, what contributes to the regulation of greenhouse gases in the atmosphere. Aware of the these soils function, one can monitor C and N storage seeking to minimize the effects of climate change. This study aimed to evaluate the carbon and nitrogen stocks in Organossolos Fólicos in the Itatiaia National Park (PNI), Brazil. For this, a pedotransfer function was used to calculate the soil density. Then, the C and N stocks were calculated in six profiles up to 30cm deep, as follow: three Organossolos Fólicos Sápricos (OOs) and three Organossolos Fólicos Hêmicos (OOy). Higher carbon stock was observed in the Oostipico2 (280,37 Mg ha^{-1}) profile and lower in the OOstipico1(160,34 Mg ha^{-1}) profile. For the nitrogen stock, the highest value was observed in the OOstipico2 (16,79 Mg ha^{-1}) profile and the lowest value in the OOylitico2 (9,49 Mg ha^{-1}) profile. The results show that carbon stocks are higher in the Organossolos Fólicos Sápricos compared to the Organossolos Fólicos Hêmicos. This indicates a greater OM stability and depth in the OOs profiles.
KEYWORDS: fragile soils, histic horizon, pedotransfer function

INTRODUÇÃO

No Parque Nacional de Itatiaia (PNI), uma das classes de solos de grande expressão são os Organossolos Fólicos. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2018), esses solos são caracterizados por altos teores de matéria orgânica (MOS) e contêm mais de 80 g kg^{-1} de carbono orgânico. Eles se formam em ambientes de drenagem livre, onde a baixa temperatura favorece a acumulação de matéria orgânica (ANJOS et al., 2020). Essas características tornam os Organossolos Fólicos importantes para o estudo da quantificação dos estoques de carbono e nitrogênio.

Esses solos desempenham um papel fundamental no ciclo biogeoquímico do carbono, sendo esponsáveis por armazenar uma quantidade significativa de carbono, cerca de quatro vezes mais do que a biomassa vegetal e três vezes mais do que a atmosfera (WATSON, 2001). Essa função dos solos é essencial para regular o equilíbrio do carbono na biosfera e ajudar a controlar as concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, desempenhando um papel importante na regulação do clima global. A compreensão da qualidade dos solos, em relação ao seu potencial de degradação e perda de matéria orgânica, é fundamental. Portanto, o estudo desses perfis contribui para a gestão adequada dos Organossolos, visando à sua conservação e à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo para o item 13.3 dos objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU (ODS), que fala sobre a mitigação, adaptação e redução de impactos da mudança do clima. Esses ODS surgiram em 2015 através da Organizações das nações Unidas (ONU), com função de construir políticas públicas para melhor guiar a sociedade até 2030 (Embrapa).

Desse modo, este estudo teve como objetivo quantificar os estoques de C e N de Organossolos Fólicos do PNI a partir da densidade do solo obtida através das funções de pedotransferência (FPTs) e avaliar como essas variáveis estão correlacionadas com os ODS.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com amostras de Organossolos Fólicos localizados no PNI, Rio de Janeiro. O clima da região foi classificado como Cwb, segundo Köppen, com inverno seco e verão moderadamente quente e chuvoso (Barreto et al., 2013). A área está sujeita a diferentes condições de relevo, com vegetação endêmica e variação litológica.

Foram selecionados seis perfis de solos, sendo eles: Organossolo Fólico Sáprico típico 1 (OOstipico1), Organossolo Fólico Sáprico típico 2 (OOstipico2), Organossolo Fólico Sáprico típico 5 (OOstipico5), Organossolo Fólico Hêmico lítico 2 (OOylitico2), Organossolo Fólico Hêmico lítico 3 (OOylitico3) e Organossolo Fólico Hêmico lítico 4 (OOylitico4) (Costa, 2019). Foram coletadas amostras de solo em cada horizonte identificado segundo o Manual de coleta de Campo (Santos, et. Al, 2015) para posterior classificação dos perfis de solos segundo o Sistema Brasileiro de classificação de solos (SiBCS, 2018)

Após a coleta as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2,0 mm de malha, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). O valor do carbono total (CT) e nitrogênio total (CT) foram extraídos de Costa (2019). Primeiramente foi determinada a Ds do solo a partir da função de pedotranferência (FPT) estabelecida por BEUTLER et al. (2017) sendo ela:

$$\boldsymbol{Ds} = [4{,}0899 - 2{,}3978 \times COT^{0{,}06}]^{3{,}85}$$

Em que:

Ds = Densidade do solo (Mg m^{-3})
CT = Carbono Total (g kg^{-1})

Essa função foi desenvolvida para solos de constituição orgânica em regiões montanhosas da região sudeste, o que se aplica perfeitamente ao estudo. Após a obtenção da Ds, foi calculado os estoques de C e N conforme a equação a seguir:

$$\textit{Estoque de C ou N} = (\textit{C ou N} \times Ds \times e) \times 10$$

Em que:

Estoque de C ou N = estoque de C ou N do solo (Mg ha^{-1});
C ou N = teor de carbono ou nitrogênio no solo (g kg^{-1});
Ds = Densidade do solo (Mg m^{-3});
e = espessura da camada avaliada (m).

A correção de massa não foi utilizada para o cálculo de estoques de C e N do solo, pois os perfis encontram-se em condições ambientais naturais, ou seja, não foram submetidos a ações antrópicas que promovessem compactação.

Para a análise dos dados foram utlizados os conteúdos de C e N de cada horizonte dos perfis através do pacote “AQP” (Algorithm for Quantitative Pedology) para gerar esboços gráficos dos perfis, com base em seus limites de horizontes através do Software R 3.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono (CT), nitrogênio (NT) e densidade do solo (Ds) são apresentados na Figura 1. Os valores médios de carbono variaram de 10,90 a 242,60 g kg^{-1} nos perfis, sendo o menor valor encontrado nos últimos 10cm do perfil OOstipico2 e o maior valor encontrado nos primeiros 20cm do perfil OOylitico4.

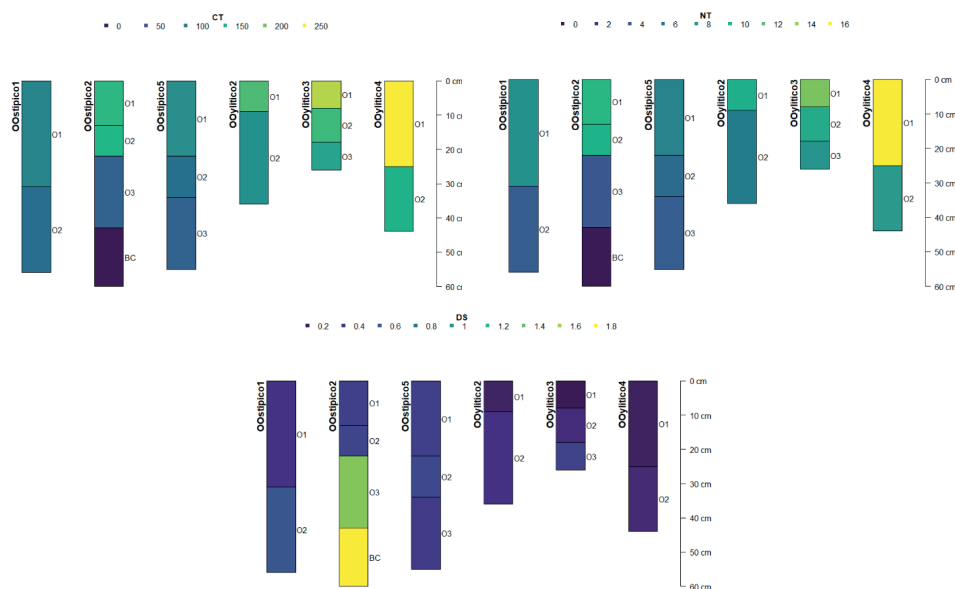



Figura 1: Conteúdos de carbono (CT) e nitrogênio total (NT) do solo (g kg^{-1}) e densidade do solo (DS) (g cm^{3}) de Organossolos Fólicos Sápricos típicos (OOstipico) e Organossolos Fólicos Hêmicos líticos (OOylitico) do Parque Nacional de Itatiaia.

Os conteúdos de nitrogênio variaram de 0,60 a 15,60 g kg^{-1}. O menor valor de NT foi encontrado na profundidade de 50-60cm no perfil OOstipico2 e o maior valor foi encontrado nos primeiros 20cm do perfil OOylitico4, seguindo o mesmo padrão do C. Sabe-se que a MOS é composta por resíduos de plantas e animais em diferentes estágios de decomposição (DORDRECHT, 2016). Esse fato explica os maiores teores de C e N nos primeiros 10cm de solo (horizonte BC), onde ocorre maior deposição desse material e maior atividade biológica.

De acordo com a Figura 1, a densidade do solo apresentou comportamento inverso ao C e N, apresentando menor valor nos primeiros 20cm (horizonte O1) do perfil OOylitico4 e maior valor nos últimos 10cm do perfil OOstipico2. Os valores variaram de 0,27 a 1,80 Mg m^{-3}. A Ds tende a aumentar em profundidade pela diminuição de matéria orgânica e a pressão exercida pelos horizontes (Zinn et al., 2012).

Os estoques de carbono e nitrogênio são apresentados na Tabela 1. Os estoques de C observados em cada horizonte dos perfis variaram de 33,34 Mg ha^{-1} no horizonte BC a 252,98 Mg ha^{-1} no horizonte O3, ambos pertencentes ao perfil OOstipico2. Em relação ao estoque de N, nota-se o mesmo padrão observado para os estoques de C. O horizonte BC do perfil OOstipico2 apresentou 1,84 Mg N ha^{-1} e o horizonte O3, 13,80 Mg N ha^{-1}, seguindo o mesmo padrão observado para o estoque de C.

Tabela 1: Estoques de C e N dos horizontes, até 30 cm de profundidade e de todo perfil (Mg ha^{-1}) de Organossolos Fólicos Sápricos típicos (OOstipico) e Organossolos Fólicos Hêmicos líticos (OOylitico) do Parque Nacional de Itatiaia.

SiBCS		Estoque de C	Estoque de C até 30	Estoque total de C do perfil	Estoque de N	Estoque de N até 30	Estoque total de N do perfil
		---Mg ha^{-1}---					
OOstipico1	O1	165,68	160,34	313,97	11,44	11,07	18,94
OOstipico1	O2	148,28			7,50		
OOstipico2	O1	108,00	280,37	470,32	6,81	16,79	27,17
OOstipico2	O2	76,00			4,72		
OOstipico2	O3	252,98			13,80		
OOstipico2	BC	33,34			1,84		
OOstipico5	O1	138,18	180,24	284,15	8,15	10,64	16,79
OOstipico5	O2	63,10			3,74		
OOstipico5	O3	82,87			4,90		
Média		**118,71**	**206,98**	**356,14**	**6,99**	**12,83**	**20,96**
OOylitico2	O1	53,86	173,54	207,73	2,94	9,46	11,32
OOylitico2	O2	153,87			8,38		
OOylitico3	O1	47,29	205,94	176,44	2,71	11,67	9,97
OOylitico3	O2	70,12			3,86		
OOylitico3	O3	59,02			3,40		
OOylitico4	O1	193,48	222,92	305,33	12,44	14,08	18,66
OOylitico4	O2	111,85			6,22		
Média		**98,50**	**200,80**	**229,83**	**5,71**	**11,74**	**13,32**

As médias gerais de estoques de C e N para os perfis de Organossolos Fólicos Sápricos (OOs), nos primeiros 30 cm de profundidade, variaram de 206,98 Mg C ha^{-1} e de 12,83 Mg N ha^{-1}. Quando considerada toda a profundidade do perfil, as médias de estoques de C e N para essa mesma classe foi de 356,14 Mg C ha^{-1} e 20,96 Mg N ha^{-1}. Para a classe dos Organossolos Fólicos Hêmicos (OOy), as médias gerais de estoques de C e N nos primeiros 30 cm de profundidade foram de 200,80 Mg C ha^{-1} e 11,74 Mg N ha^{-1}. Ao longo de todo o perfil, para essa mesma classe de solo, foram observados valores médios de 229,83 Mg C ha^{-1} e 13,32 Mg N ha^{-1}. Esse padrão pode ser explicado pela espessura dos Organossolos Fólicos Sápricos, que por serem mais espessos contribuem para uma maior acumulação de C e N. Também pode-se considerar que a matéria orgânica nos OOs está em um estágio de decomposição mais avançada que os OOy, consequentemente estará mais estável e isso contribuirá para maiores valores de estoque.

CONCLUSÕES

Verifica-se que a FPTs foi eficiente para a quantificação das densidades dos solos e consequentemente para o cálculo do estoque de C e N em Organossolos.

Pode-se observar que os valores de estoque de C e N foram altos devido à grande presença de matéria orgânica nesses solos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial a CAPES; CNPq, FAPERJ, PPGA-CS, UFRRJ e o Parque Nacional de Itatiaia, que contribuíram para elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANJOS, L H C dos A; PINHEIRO JUNIOR, C R;SANTOS, O A Q dos; NETO, E C. da; PEREIRA, M G. **Organossolos: a importância agronômica e ambiental para o Rio de Janeiro.** Revista Ângulos. Rio de Janeiro, 2020. Acessado em: 08 de novembro de 2023. Disponível em: https://angulos.crea-rj.org.br/organossolos-a-importancia-agronomica-e-ambiental-para-o-rio-de-janeiro/#:~:text=Organossolos%20podem%20se%20formar%20em,denominado%20de%20%E2%80-%9CO%20h%C3%ADstico%E2%80%9D

BARRETO, C. G.; CAMPOS, J. B.; ROBERTO, D. M.; ROBERTO, D. M.; SCHWARZSTEIN, N. T.; ALVES, G. S. G.; COELHO, W. **Plano de Manejo: Parque Nacional do Itatiaia.** Encarte 3. Relatório Técnico Instituto Chico Mendes, 2013.

BEUTLER SJ, PEREIRA MG, TASSINARI WS, MENEZES MD, VALLADARES GS, ANJOS LHC**. Bulk density prediction for Histosols and soil horizons with high organic matter content. Rev Bras Cienc Solo**. 2017;41:e0160158. https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160158» https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160158

COSTA, ELIAS M. de. **Caracterização de solos e avaliação da vulnerabilidade de ambientes no parque nacional de Itatiaia**, Brasil. 2019. 137 p. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de janeiro, 2019.

DORDRECHT, Springer (ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. 1. ed. [S. l.]: Ward Chesworth, 2016. 902 p.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL: **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: < https://brasil.un.org/pt-br/sdgs > Acesso em: 3 nov. 2023.

SANTOS, H.G.et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. Ed. Revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, Raphael; SANTOS, Humberto; KER, João Carlos; ANJOS, Lúcia; SHIMIZ, Sérgio (ed.). **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. [*S. l.*]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 102 p. ISBN 978-85-86504-03-7.

WATSON, R. T. (Ed.). **Climate change 2001: synthesis report: third assessment report ofthe Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Pres 2001. 408 p.

ZINN YL, GUERRA AR, SILVA AC, MARQUES JJ, OLIVEIRA GC, CURI N**. Perfis de carbono orgânico do solo nas regiões sul e serra do espinhaço meridional, Minas Gerais: Modelagem em profundidade**. R Bras Ci Solo. 2012;36:1395-406.

CAPÍTULO 42

TEORES DE CÁDMIO E CHUMBO EM SOLOS DE ÁREAS DE PRODUÇÃO DE LÚPULO NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO

Data de aceite: 01/04/2024

Maria Gabriela Alves da Cruz
Estudante de graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Mariana Ferreira Santa Cruz Coimbra
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia (UFRRJ/ PPGF)

Vitoria Gomes Ribeiro
Estudante de graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Farley Alexandre da Fonseca Breda
Pós doutorando do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (PPGCS-A/ UFRRJ)

Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho
Professor do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Erica Souto Abreu Lima
Professora do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

RESUMO: O lúpulo é uma planta mundialmente utilizada na produção de cervejas, e o interesse no seu cultivo vem aumentando, mas pouco se conhece a respeito da presença de metais no solo e a sua relação com os fertilizantes solúveis utilizados no seu cultivo. Objetivou-se neste trabalho avaliar os teores dos metais pesados Cd e Pb e associar estes valores aos atributos químicos e físicos em área de produção de lúpulo na Região Serrana do Rio de Janeiro. Foram coletadas 20 amostras de solo na profundidade de 0-20 cm na propriedade. Para a determinação dos teores dos metais pesados foi utilizada a metodologia da EPA 3050B (USEPA, 1996). Os extratos foram analisados respectivamente em aparelho de Espectrometria de Absorção Atômica (EAA). Esses resultados foram confrontados com as características químicas e físicas dos solos através da Análise de Componentes Principais (ACP) usando o programa estatístico SAS versão 9.2 (SAS, 2010). Os teores de Pb apresentaram valores próximos aos valores naturais obtidos para solos da região Serrana, não representando potencial risco para o ambiente. No entanto, para o elemento Cd foi evidenciado aumento expressivo em alguns pontos, despertando maior preocupação com os possíveis impactos sobre o agroecossistema, e

também na qualidade do lúpulo produzido na região. Além disso evidenciou-se que a declividade contribuiu para o aumento de Cd e Pb nos pontos de menor elevação do terreno.
PALAVRAS-CHAVE: agricultura de montanha, contaminação, metais pesados

CADMIUM AND LEAD CONTENT IN SOILS IN HOP PRODUCTION AREAS IN THE MOUNTAIN REGION OF RIO DE JANEIRO

ABSTRACT: Hops are a plant used worldwide in beer production, and interest in their cultivation has been increasing, but little is known about the presence of metals in the soil and their relationship with the soluble fertilizers used in their cultivation. The objective of this work was to evaluate the levels of heavy metals Cd and Pb and associate these values with chemical and physical attributes in a hop production area in the mountainous region of Rio de Janeiro. 20 soil samples were collected at a depth of 0-20 cm on the property. To determine the levels of heavy metals, the EPA 3050B methodology was used (USEPA, 1996). The extracts were analyzed respectively in an Atomic Absorption Spectrometry (AAS) device. These results were compared with the chemical and physical characteristics of the soils through Principal Component Analysis (PCA) using the statistical program SAS version 9.2 (SAS, 2010). The Pb contents presented values close to the natural values obtained for soils in the Mountain region, not representing a potential risk to the environment. However, for the Cd element, a significant increase was evident in some points, raising greater concern about the possible impacts on the agroecosystem, and also on the quality of hops produced in the region. Furthermore, it was evident that the slope contributed to the increase in Cd and Pb at the lowest elevation points of the terrain.
KEYWORDS: contamination, heavy metals, mountain agriculture.

INTRODUÇÃO

O cultivo de lúpulo (*Humulus lupulus L.*) é direcionado principalmente para o mercado cervejeiro por causa de sua rica composição química, que confere aroma e amargor a estas bebidas (MARCOS et al., 2011; PERAGINE, 2011). O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de cerveja no mundo e, recentemente, o cultivo de lúpulo no Brasil tem se apresentado viável em várias regiões do país, e sua produção tem despertado a atenção de muitos produtores de cerveja.

Diante do aumento da produção do lúpulo na Região Serrana do Rio de Janeiro, se torna fundamental a compreensão dos fatores edáficos da região e, portanto, é muito importante o desenvolvimento de pesquisas a respeito do impacto antrópico sobre o solo utilizado para o cultivo.

Compreender a relação dos metais com a fertilidade do solo e o relevo, e identificar se o teor destes elementos está equivalente aos valores naturais da região, se torna fundamental para promover um cultivo ambientalmente seguro. Neste contexto foram avaliados os teores de Cd e Pb com o objetivo de associar estes valores aos atributos químicos e físicos em área de produção de lúpulo na Região Serrana do Rio de Janeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na fazenda GP, pertencente à empresa de bebidas Grupo Petrópolis, localizada na Serra do Capim, no município de Teresópolis, Região Serrana do Rio de Janeiro, coordenadas 22°10'50.8"S, 42°50'59.8"W, Brasil.

Foram coletados 20 pontos de amostras simples de solo em uma área de produção de lúpulo (aproximadamente 12.800 m2) na profundidade de 0 a 20 cm.

As amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas, tamizadas com peneira de malha de 2 mm (nº 10 ABNT) e homogeneizadas. Posteriormente, foram maceradas em almofariz de ágata e peneiradas em tamiz de malha de 0,150 mm para determinação dos teores pseudototais de metais pesados utilizando o método USEPA 3050B. A leitura dos metais foi realizada através de Espectrometria de Absorção Atômica.

Também foram analisadas quanto ao teor de carbono orgânico (Corg), pH (H20), Ca, Mg, K e Al trocáveis, P assimilável, H+Al (acidez potencial), soma de bases, saturação por bases (V%) e CTC a pH 7,0, e granulometria (areia, silte e argila), segundo a metodologia proposta pela Embrapa (TEIXEIRA et al, 2017).

Para avaliação da qualidade das análises de solo, foi utilizado material certificado SRM 2709a - San Joaquin Soil (NIST, 2003), certificado pelo National Institute of Standards and Technology.

Os dados foram analisados através de estatística descritiva, com valores de média, mínimo e máximo, e através da análise de componentes principais (ACP) utilizando o programa estatístico SAS versão 9.2 (SAS, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados da análise química e granulometria (areia, silte e argila) do solo, conforme metodologia proposta pela Embrapa (2017).

Tabela 1: Caracterização química de solo da área de cultivo de lúpulo na região Serrana do Rio de Janeiro.

	pH	P	K+	Ca2+	Mg2+	Na+	S	Al	H + Al	CTC	V	C org	Argila	Silte	Areia
	(H2O)	mg dm^{-3}	---------------------------- cmolc dm^{-3} ----------------------------											%	
Média	5,2	17,5	0,1	2,66	1,21	0,1	3,98	0,3	10,7	5,4	29,6	4,66	55	8.0	36
Mínimo	4,5	10,25	0,05	0,98	0	0,02	1,57	0,09	4,42	2,2	11,8	0,84	50	4	33
Máximo	6,33	86,59	0,19	5,27	3,75	0,26	7,32	0,94	20,02	40,2	76,8	6,01	62	10	41

É possível observar que o valor médio de pH (Tabela 1) foi igual a 5,2, o que caracteriza um solo ácido para o cultivo do lúpulo. No entanto, alguns pontos apresentaram valores maiores, sendo o valor máximo igual a 6,33. Essas faixas de pH caracterizam os solos da região como ácidos, e essa condição favorece a solubilidade dos metais, principalmente em solos muito intemperizados, devido à presença de óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de Fe, Al e Mn, que possuem majoritariamente grupamentos funcionais pH dependentes, que nessa condição, estão carregados positivamente. (RIEUWERTS et al., 2006).

O K apresentou teor médio de 0,1 cmolc dm^{-3} (39 mg kg^{-1}), sendo seus teores mínimo e máximo de 0,05 cmolc dm^{-3} e 0,19 cmolc dm^{-3} (equivalente a 19,5 mg kg^{-1} e 74,1 mg kg-1), respectivamente. De acordo com o Manual de Adubação e Calagem do Rio de Janeiro, esses valores são considerados baixos para K, sendo o teor ideal acima de 81 mg dm^{-3} (FREIRE et al., 2013). Segundo Chen et al. (2008), o K, assim como o N, também é um macronutriente para o crescimento do lúpulo, exercendo o controle da pressão osmótica, ajuste do turgor e controle da polarização da membrana e biossíntese de proteínas.

O teor médio da soma dos teores de Ca e Mg, é considerado como mediano, ou seja, está entre a faixa 2,1 – 6,0 cmolc dm^{-3}, segundo Freire et al. (2013). Já o teor médio de Al trocável (0,3 cmolc dm^{-3}) é considerado como tóxico para as plantas, sendo necessária a recomendação de práticas como a calagem para a neutralização do Al.

Para o elemento P, os valores variaram entre 10,25 e 86,59 mg dm^{-3}, com média de 17,5 mg dm^{-3} (tabela 1). Segundo Freire et al. (2013), o teor médio encontrado nos solos é considerado como mediano (11 – 20 mg dm^{-3}), enquanto o valor máximo pode ser considerado muito alto (> 30 mg dm^{-3}), quando a análise foi realizada com extrator Mehlich-1. Ressalta -se que estes valores atendem à demanda nutricional deste elemento para o lúpulo (2,00 mg dm^{-3}) (RODOLFI et al., 2021) A grande variação de P pode ter sido causada pela aplicação localizada de adubos fosfatados solúveis, o que refletiu em uma variação muito grande deste elemento entre os pontos. O uso excessivo de adubos fosfatados foi verificado também por Gonçalves et al. (2022), analisando amostras de solo de áreas produtoras de couve comum em Petrópolis (Região Serrana – RJ). Esses autores verificaram que 70,5% das amostras apresentavam teores muito altos (> 30 mg kg^{-1}) de P.

Em relação a análise granulométrica, observa-se que em todos os pontos as amostras foram classificadas como de textura argilosa à muito argilosa (teor de argila de 50-52%).

Na Tabela 2, verifica-se que o teor médio de Cd (0,20 mg kg^{-1}) foi superior ao valor de referência de qualidade (VRQ) da região (0.04 mg kg^{-1}) (LIMA et al.,2018), cerca de 5 vezes superior. Ao analisar o conjunto de dados observa-se que alguns pontos apresentaram teores muito elevados, sendo o valor máximo igual a 0,90 mg kg^{-1}, o que representa um enriquecimento superior a 20 vezes o valor natural dessas áreas, classificando esses pontos como de severa contaminação, o que representa um potencial risco para as áreas produtoras de lúpulo. Enquanto que o Pb apresentou teor médio de 5,55 mg kg^{-1} e máximo de 18,83 mg kg^{-1}, teores inferiores ao VRQ da região (29 mg kg^{-1}).

Tabela 2: Teores de Cd e Pb em solos de área de cultivo de lúpulo na região Serrana do Rio de Janeiro.

	Cd	Pb
	..........................mg kg^{-1}	
Média	0,20	5,55
Mínimo	0,00	0,00
Máximo	0,90	18,83

Na figura 1 é apresentado o gráfico biplot, obtido através da Análise de Componentes Principais (ACP), dos teores pseudototais de Cd e Pb, com os atributos do solo e do relevo (elevação). Observa-se que os teores de Cd e Pb apresentaram relação estreita e positiva com os teores de P assimilável e K trocável, e inversa com os teores de argila, Corg e Elevação, evidenciando a contribuição antropogênica no enriquecimento de Cd e Pb nos solos, provenientes possivelmente do uso de adubos fosfatados solúveis e potássicos que são aplicados na área de estudo. Dentre os fertilizantes comumente utilizados nos cultivos agrícolas na região Serrana do estado do Rio de Janeiro, os fosfatados solúveis, obtidos por meio de tratamento ácido de rochas fosfatadas (apatitas), ganham destaque pela presença de metais pesados como Cd e Pb, que são tidos como impurezas na sua composição (ZOFOLLI et al., 2013; AMARAL SOBRINHO;ZONTA, 2016; SOUSA et al. 2020). Esse adubo, quando aplicado ao solo reduz o pH, em torno dos grânulos, para valores muito próximos a 2,0 e, nessas condições, os metais pesados, presentes como impurezas, são solubilizados e se tornam biodisponíveis para as plantas (SALDANHA, 2022).

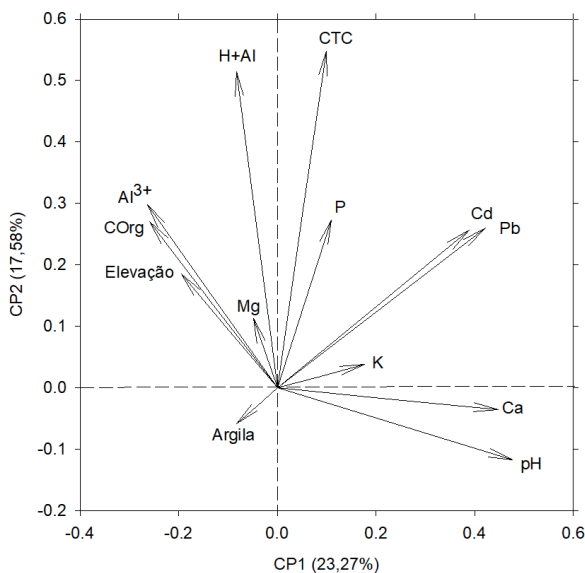



Figura 1: Análise de Componentes Principais entre os teores pseudototais de Cd e Pb e os atributos do solo.

Verificou-se também alta influência do relevo nos teores de Cd e Pb, onde os maiores teores foram encontrados nos pontos de menor elevação (Figura 1). A acumulação pode ter ocorrido pelo arraste de partículas do solo através do processo de erosão, acumulando-se nas partes mais baixas do relevo. O processo provoca o arraste de P assimilável e K trocável, o que também justifica os maiores teores desses nutrientes nos pontos de menor elevação.

Os teores de Pb na área de produção de lúpulo encontram-se próximos aos valores naturais obtidos para solos da região Serrana, não representando potencial risco para o ambiente. No entanto, para o elemento Cd foi evidenciado aumento expressivo em alguns pontos, despertando maior preocupação com os possíveis impactos sobre o agroecossistema, e também na qualidade do lúpulo produzido na região.

As diferenças no relevo associado ao uso de fertilizantes minerais fosfatados solúveis e potássicos foram os fatores que mais contribuíram para o aumento dos metais na área de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a parceria, disponibilidade de área de pesquisa, suporte técnico e logístico fornecido pelo Grupo Petrópolis (Sede: Teresópolis) e aos Programas de Pós- graduação em Fitotecnia da UFRRJ e de Agronomia - Ciência do Solo da UFRRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, Y.-F.; WANG, Y.; WU, W.-H. Membrane Transporters for Nitrogen, Phosphate and Potassium Uptake in Plants. J. Integr. **Plant Biol**. 2008, 50, 835–848.

FREIRE, L. R et al. (2013). Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF: Embrapa ; Seropédica, RJ : Editora Universidade Rural. 430p.

LIMA, E.S.A.; MATOS. T de S.; PINHEIRO, H. S. K.; GUIMARÃES, L. D. D.; PÉREZ, D. V.;

AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Soil heavy metal content on the hillslope region of Rio de Janeiro, Brazil: reference values. **Environmental monitoring and assessment**, v. 190, n 6, p. 1-11, 2018.

MARCOS, J. A. M. et al. Guia del cultivo del lúpulo. [Galícia]: [s.n.], 2011.

NIST – National Institute Standards and Technology. Standard Reference Materials – SRM 2709 – San Joaquin Soil. **Baseline Trace Element Concentrations**. Certificate Issue Date: 18 July 2003.

PERAGINE, J. Growing your own hops, malts, and brewing herbs. **Ocala: Atlantic**, 2011.
PRIEUWERTS, J. S. et al. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. **Science of the total Environment**, v. 366, n. 2-3, p. 864-875, 2006

RODOLFI, M., BARBANTI, L., GIORDANO, C., RINALDI, M., FABBRI, A., PRETTI, L. & GANINO, T. (2021). Efeito de diferentes adubações foliares orgânicas sobre características fisiológicas e químicas em folhas e cones de lúpulo (*Humulus lupulus* L., cv Cascade). **Ciências Aplicadas**, 11 (15), 6778.

SALDANHA, G. R.; Fracionamento geoquímico de Cu, Pb e Cr em solos da Região Serrana – RJ: Valores de referência de biodisponibilidade e avaliação da contaminação em áreas cultivadas com hortaliças de folha. Dissertação (Mestrado em Solos), Universidade Federal rural do Rio de Janeiro, 2022.

SAS Institute Inc. SAS OnlineDocR 9.2. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2010.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G. (2017). Manual de métodos de análise de solo.

ZOFOLLI, H., AMARAL SOBRINHO, N. M. B., ZONTA, E., LUISI, M. V., MARCON, G., & BECERRA, A. T. Inputs of heavy metals due to agrochemical use in tobacco fields in Brazil's Southern Region. **Environmental Monitoring and Assessment**, 185(3), 2423–2437, 2013.

WU, S., PENG, S., ZHANG, X., WU, D., LUO, W., ZHANG, T., WU, L. (2015). Níveis e avaliações de risco à saúde de metais pesados em solos urbanos em Dongguan, China. **Jornal de Exploração Geoquímica**, *148* , 71-78

CAPÍTULO 43

PLANTAS DE COBERTURA NA MELHORIA DA FERTILIDADE DO SOLO

Data de aceite: 01/04/2024

Maria Caroline Aguiar Amaral
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Biossistemas da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)

Jaqueline Dalla Rosa
Professora do Centro de Formação em Ciências Agroflorestais da Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Bahia

João Carlos Medeiros
Professor do Centro de Formação em Ciências Agroflorestais da Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Bahia

Ivan Pereira Santos Silva
Graduando do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências da Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB, Itabuna, Bahia

Poliana Maria de Oliveira Paixão
Graduanda do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB, Itabuna, Bahia

Claunita Novais Alves
Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Biossistemas da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)

RESUMO: As plantas de cobertura contribuem para a preservação do solo, elevação dos níveis de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes e preservação da qualidade do solo. o objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade química do solo em sistemas de cultivo de cacaueiro pleno consorciado com plantas de cobertura. O experimento foi realizado na Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira) (CEPAC), em Ilhéus, BA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de plantas de cobertura do solo: 1) Fabaceas; 2) Braquiária e 3) Vegetação espontânea e 4) Solo exposto sem cobertura. O solo cultivado com consórcio de cacaueiro com braquiária e com plantas espontâneas foi o que apresentou os maiores teores de potássio.

PALAVRAS-CHAVE: fabaceas, poaceas, *Theobroma cacao* L

COVER PLANTS ON IMPROVING SOIL FERTILITY

ABSTRACT: Cover crops contribute to soil preservation, increase in organic matter levels, nutrient recycling, and maintenance of soil quality. The objective of this study

was to evaluate the chemical soil quality in cocoa cultivation systems intercropped with cover crops. The experiment was conducted at CEPLAC (Executive Commission of the Cocoa Crop Plan) in Ilhéus, BA. The experimental design was a randomized block design with four replications. The treatments consisted of soil cover crops: 1) Fabaceas; 2) Brachiaria; 3) Spontaneous vegetation and 4) Exposed soil without cover. The soil cultivated with cocoa intercropped with Brachiaria showed the highest potassium content.
KEYWORDS: fabaceas, poaceas, *Theobroma cacao* L.

INTRODUÇÃO

A manutenção da produtividade das culturas e a preservação da qualidade física, química e biológica do solo representam um dos principais desafios enfrentados pelo setor agropecuário na busca pelo estabelecimento de práticas de produção sustentável. Especialmente em regiões tropicais e subtropicais, como verificado no Brasil, os processos erosivos e as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) são geralmente mais elevados do que em regiões temperadas. Isso torna fundamental a implementação de práticas conservacionistas de manejo do solo.

O cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) é uma planta nativa da Amazônia e cultivada em países tropicais da América do Sul, África Ocidental e Central, Índia e Sudeste Asiático (LÄDERACH et al., 2013). Atualmente, o cacau é cultivado em mais de 50 países de clima tropical úmido (PRAZERES et al., 2021). Além disso, o cultivo de cacau desempenha um papel social e econômico vital, abrangendo mais de 10 milhões de hectares e fornecendo renda para inúmeras famílias (GEORGES et al., 2023).

Nesse contexto, a introdução de plantas de cobertura é crucial para fortalecer a estabilidade da produção agrícola do cacau cultivado a pleno sol, conferindo maior resistência a condições climáticas adversas, e para promover a biodiversidade do solo ao criar um ambiente propício para microrganismos benéficos. Fabaceas, por exemplo, têm a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, enquanto as poaceas, apresentam capacidade de aumentar os teores de matéria orgânica por meio do incremento de raízes, que contribui, para a redução da necessidade de fertilizantes. Essa estratégia, além de aprimorar a saúde do solo, oferece benefícios econômicos e ambientais, destacando-se como uma prática eficaz na agricultura conservacionista.

Cada espécie utilizada como planta de cobertura possui dinâmica específica nos níveis de decomposição e liberação de nutrientes dos seus resíduos. Tal característica está relacionadaa à sua composição, a qual é associada a relação carbono/nitrogênio (CN) e presença de compostos mais lábeis ou recalcitrantes (MICHELON et al., 2019). Esses resíduos são constituídos pelos mesmos grupos de componentes, porém, em diferentes proporções (HADAS et al., 2004). As raízes das plantas de cobertura também são eficientes em favorecer a agregação e a porosidade do solo, garantindo melhor aeração, infiltração de água e atividade biológica do solo (DENARDIN et al., 2019).

Portanto, o objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade química do solo em sistemas de cultivo de cacaueiro a pleno consorciado com plantas de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Comissão Executiva do Plano da lavoura Cacaueira (CEPLAC) em Ilhéus, BA, em área experimental, cujas coordenadas geográficas 14º 47' 55" de latitude sul e 39º 02' 01" de longitude oeste. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Af, floresta tropical quente e úmida sem estação seca, com precipitação média anual superior a 1.300 mm, temperatura média de 23°C e umidade relativa de 80%. O relevo regional é caracterizado como ondulado, com altitude de 60 m. O solo da área experimental é um NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico saprolítico (SANTANA et al., 2002). A distribuição granulométrica do solo é de 320 g kg^{-1} de areia, 338 g kg^{-1} de silte e 342 g kg^{-1} de argila, os atributos químicos antes da implantação do experimento estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento na camada de 0-20 cm.

pH	H+Al	Al	Ca	Mg	P	SB	T	B	S	K	Cu	Fe	Mn	Zn	V	m
	----------------cmolc dm^{-3}----------------------							-------------------mg dm^{-3}----------------------							-----%----	
6,0	4,2	0,0	7,5	2,1	40	9,9	9,9	0,65	7	78	4,9	84	489	10	70	0

H+Al: acidez potencial; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; SB: soma de bases; P T: CTC a pH 7; P: fósforo; S: enxofre; K: potássio; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; B: boro; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

O experimento foi implantado em março de 2020 em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Foi realizada gradagem nas entrelinhas dos cacaueiros para implantação dos tratamentos. Os tratamentos consistiram de plantas de cobertura: (1) Braquiária (*Urochloa decumbens*), (2) Fábaceas (*Crotalaria breviflora*, *Cajanus* cajan e *Arachis pintoi*)*,* (3) plantas espontâneas e solo (4) sem cobertura. O tratamento com Fabaceas consistiu no cultivo das seguintes plantas: Crotalária (ano de 2020); Guandu (ano de 2021) e Amendoim forrageiro (2022). As plantas de cobertura foram implantadas com semeadura à lanço e incorporação manual das sementes, com exceção do amendoim forrageiro que foi por mudas.

Em março de 2023, em cada parcela experimental foram coletadas amostras compostas de terra, na camada de 0-10 cm, que foram conduzidas para laboratório para análise química.

Os dados foram analisados quanto à homogeneidade pelo teste de Cochran, e normalidade pelo teste de Lilliefors, seguido de análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste Fisher ($p<0,05$), com auxílio do STATSOFT Software Statistica® v.10.0 (STATSOFT, 1974 - 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças significativas apenas para o potássio (Tabela 2). A área que foi submetida ao cultivo de cacaueiros em consórcio com braquiária e vegetação espontânea apresentou os maiores teores de potássio em comparação aos demais tratamentos avaliados.

Ao estudarem o acúmulo e ciclagem de nutrientes em duas espécies de braquiária (*Urochloa)*, SANTOS et al. (2023) reportaram acúmulo médio de potássio de 604 kg por hectare, destacando essa espécie com excelente recicladora de potássio. Além disso, as braquiárias têm a capacidade de absorver formas não trocáveis de potássio do solo (PITTELKOW et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2017). Assim, neste, estudo isso pode explicar o aumento na disponibilidade de potássio no tratamento com braquiária.

Os valores de pH em água do solo foram semelhantes em todos os tratamentos, próximo da neutralidade, tal característica é importante, pois influencia a disponibilidade de nutrientes para as plantas, além de contribuírem para os baixos teores de alumínio.

Tabela 2: Atributos químicos do solo em terra fina seca ao ar (TFSA) em sistemas de cultivo de cacaueiro em pleno consorciado com plantas de cobertura, na profundidade 0-10cm.

Plantas de cobertura	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al	pH	M.O.
		mg/dm³			cmol c/dm³				dag^{-kg}
Fabaceas	53,3ª	64,3b	15,0a	7,7ª	2,4ª	0,0	3,8a	6,0a	3,6ª
Braquiaria	48,3ª	132,6a	14,3a	7,4a	2,5ª	0,0	4,1ª	6,0a	3,1ª
Solo sem cobertura	47,0a	48,0b	16,6a	8,4ª	2,4ª	0,0	3,6ª	6,0a	3,1ª
Veg. espontanea	42,3a	72,0ab	12,0a	7,8ª	2,6ª	0,0	3,8ª	6,0a	3,2ª

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si pelo teste Fisher ($p < 0,05$).

P: fósforo; K: potássio; S: enxofre; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: acidez potencial; pH: pH em água; M.O.: matéria orgânica.

CONCLUSÕES

O consórcio de cacaueiro com braquiária e vegetação espontânea apresentaram o maior teor de potássio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DENARDIN, J. E., FAGANELLO, A., & LEMAINSKI, J. Converter plantio direto em Sistema Plantio Direto-um modelo à sustentabilidade agrícola. 2019.

GEORGES, M. E., MELO, C. A. F., SOUZA, M. M. D., & CORRÊA, R. X. Cacao genotypes cultivated in agroforestry systems in Bahia have wide genetic variability in morpho-agronomic characters. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. e004923, 2023.

HADAS, A., KAUTSKY, L., GOEK, M., & KARA, E. E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil biology and biochemistry**, v. 36, n. 2, p. 255-266, 2004.

LÄDERACH P, MARTINEZ-VALLE A, SCHROTH G, CASTRO N. Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. **Climatic change**, v. 119, n. 3-4, p. 841-854, 2013.

MICHELON, MICHELON, C. J., JUNGES, E., CASALI, C. A., PELLEGRINI, J. B. R., NETO, L. R., DE OLIVEIRA, Z. B., & DE OLIVEIRA, M. B. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019.

OLIVEIRA, G. C. B., OLIVEIRA, M. W., NASCIF, C., RODRIGUES, T. C., & OLIVEIRA, T. B. A. Produção e composição química da *Braquiaria ruziziensis* cultivada após a colheita do milho de primeira safra. VI Simpósio Nacional de Bovinocultura de Leite, 253-256, 2017.

PITTELKOW, F.K.; SCARAMUZZA, J. F.; WEBER, O. L. S.; MARASCHIN, L.; VALADÃO, F. C. A, OLIVEIRA, E. S. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Agrarian**, v.5, n.17, p.212 -222. 2012.

PRAZERES, I.; LUCAS, M. R.; MARTA-COSTA, A. Cocoa markets and value chain: Dynamics and challenges for São Tomé and príncipe organic smallholders**. International Journal of Innovation and Economic Development**, v. 7, n. 2, p. 64-76, 2021.

SANTANA, S. O.; SANTOS, R. D.; GOMES, I. A.; JESUS, R. M.; ARAUJO, Q. R.; MENDONÇA, J. R.; CALDERANO, S. B.; FARIA FILHO, A. F. Solos da região sudeste da Bahia: atualização da legenda de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos Ilhéus: Ceplac; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16).

SANTOS, D. F, DE OLIVEIRA, M. W., DA COSTA SOARES, E., BHATT, R., KÖLLN, O. T., & da Silva, M. C. F. Eficiência nutricional e produtiva das Braquiárias brizantha e decumbens, como plantas forrageiras e de cobertura do solo. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 16, n. 7, p. 7188-7205, 2023.

APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE ENRIQUECIMENTO GEOQUÍMICO NO MONITORAMENTO AMBIENTAL DE ÁREA DE PRODUÇÃO DE LÚPULO NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO

Data de aceite: 01/04/2024

Mariana Ferreira Santa Cruz Coimbra
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia (UFRRJ/ PPGF)

Ingrid Lobo da Silva Coêlho
Estudante de graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Eduardo Pereira da Rocha
Estudante de graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Farley Alexandre da Fonseca Breda
Pós doutorando do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (PPGCS-A/ UFRRJ)

Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho
Professor do Programa de Pós graduação em Agronomia – Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Erica Souto Abreu Lima
Professora do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

RESUMO: O lúpulo é uma planta mundialmente utilizada na produção de cervejas, mas pouco se sabe a respeito da influência das práticas de manejo adotadas no acúmulo de metais pesados nos solos do estado do Rio de Janeiro. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a contaminação do solo por Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn, utilizando o Índice de geoacumulação (Igeo), Fator de Enriquecimento (FE) e Índice de Poluição (IP) em áreas de produção de lúpulo na Região Serrana do Rio de Janeiro. Para tal, foram coletadas amostras em 20 pontos na profundidade de 0-20 cm. Após a coleta, as amostras foram preparadas e analisadas quanto ao teor pseudototal dos metais, utilizando o método de digestão USEPA 3050B. A leitura dos metais foi realizada através de Espectrometria de Absorção Atômica. Os cálculos do Igeo, FE e IP foram realizados utilizando como valor de referência, os valores determinados para região Serrana por Lima et al. (2018). O principal elemento contaminante verificado foi o Cd, cujos valores de Igeo, FE e IP, nas amostras mais contaminadas, variaram respectivamente, entre -1.51 e 3.91; 0 e 15.35; e 0 e 22.5. Tais resultados evidenciaram uma contaminação ambiental variando de pouca a moderada, com poucos pontos intensamente contaminados, apesar

da evidente acumulação de resíduos antrópicos. Conclui-se que os índices (Igeo, FE e IP) apresentam potencial para avaliação do grau de contaminação dos solos, subsidiando futuras ações ambientais.
PALAVRAS-CHAVE: fator de enriquecimento, índice de geoacumulação, índice de poluição, metais pesados

APPLICATION OF GEOCHEMICAL ENRICHMENT INDEXES IN ENVIRONMENTAL MONITORING OF HOP PRODUCTION AREAS IN THE MOUNTAIN REGION OF RIO DE JANEIRO

ABSTRACT: Hops are a plant used worldwide in beer production, but little is known about the influence of management practices adopted on the accumulation of heavy metals in the soils of the state of Rio de Janeiro. The present work aimed to evaluate soil contamination by Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb and Zn, using the Geoaccumulation Index (Igeo), Enrichment Factor (FE) and Pollution Index (IP) in areas hop production in the mountainous region of Rio de Janeiro. To this end, samples were collected at 20 points at a depth of 0-20 cm. After collection, the samples were prepared and analyzed for pseudototal metal content, using the USEPA 3050B digestion method. The metals were read using Atomic Absorption Spectrometry. The Igeo, FE and IP calculations were carried out using as a reference value the values determined for the Serrana region by Lima et al. (2018). The main contaminating element verified was Cd, whose Igeo, FE and IP values, in the most contaminated samples, varied respectively between -1.51 and 3.91; 0 and 15.35; and 0 and 22.5. These results showed environmental contamination ranging from little to moderate, with few intensely contaminated points, despite the evident accumulation of anthropogenic waste. It is concluded that the indices (Igeo, FE and IP) have potential for evaluating the degree of soil contamination, supporting future environmental actions.
KEYWORDS: enrichment factor, geoaccumulation index, heavy metals, pollution index

INTRODUÇÃO

O lúpulo é uma trepadeira perene da família Cannabaceae, gênero Humulus, espécie *Humulus lupulus* L., e atualmente é utilizada, principalmente, como ingrediente chave na produção de cerveja, conferindo o perfil de aroma e amargor da bebida. (MARCOS et al., 2011; PERAGINE, 2011).

Recentemente, o cultivo de lúpulo no Brasil tem se apresentado viável em várias regiões do país e a sua produção tem despertado a atenção de muitos produtores de cerveja, uma vez que a qualidade da bebida se torna diferenciada, principalmente no que se refere ao seu aroma (AQUINO et al., 2022).

Ainda são escassas as informações quanto as condições edáficas do Brasil e do Rio de Janeiro para a produção de lúpulo e, diante do aumento da sua produção na Região Serrana do Rio de Janeiro, se faz necessário o desenvolvimento de pesquisas a respeito do impacto antrópico sobre o solo utilizado para o cultivo.

Uma das ferramentas para o monitoramento ambiental é a avaliação de presença de metais pesados no solo, pois o solo tem papel crucial por ser receptor destes elementos, controlando seu transporte químico para a atmosfera, hidrosfera e biosfera (KABATA-PENDIAS, 2011).

Alguns trabalhos mostraram um aumento na concentração de metais pesados em áreas agrícolas da região Serrana do Rio de Janeiro (FRANCO et al., 2020; GONÇALVES et al., 2022). Um dos principais meios de aporte de contaminantes em áreas de produção podem estar associados aos insumos, como fertilizantes e compostos orgânicos. A avaliação dos impactos do uso de fertilizantes agrícolas e insumos orgânicos em áreas de cultivo de lúpulo é um importante mecanismo para a gestão ambiental. Neste contexto foi avaliado o índice de enriquecimento geoquímico de metais potencialmente tóxicos (Cu, Mn, Ni, Cr, Cd, Pb e Zn), por meio do Fator de Enriquecimento (FE), Índice de Geoacumulação (Igeo) e Índice de Poluição (IP) em área de produção de lúpulo na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados 20 amostras simples de solo (aproximadamente 12.800 m^2) na profundidade de 0 a 20 cm em uma área de produção de lúpulo localizada em Teresópolis, na Região Serrana do Rio de Janeiro.

As amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas, tamizadas com peneira de malha de 2 mm (nº 10 ABNT) e homogeneizadas. Posteriormente, foram maceradas em almofariz de ágata e peneiradas em tamiz de malha de 0,150 mm para determinação dos teores pseudototais de metais pesados utilizando o método USEPA 3050B. A leitura dos metais foi realizada através de Espectrometria de Absorção Atômica.

Para avaliação da qualidade das análises de solo, foi utilizado material certificado SRM 2709a - San Joaquin Soil (NIST, 2003), certificado pelo National Institute of Standards and Technology.

Os cálculos do Igeo, FE e IP foram realizados utilizando como valor de referência os valores determinados para a região Serrana por LIMA et al. (2018).

O FE é um método que permite distinguir entre fontes naturais e antropogênicas de contaminação (LU et al., 2012). Para o cálculo do FE é imprescindível a utilização de elementos normalizadores ou referência. O ferro (Fe) foi utilizado como elemento de referência para a normalização dos dados, por ser um elemento químico de pouca mobilidade no solo e fracamente associado às atividades humanas. Dessa forma o FE foi calculado conforme a proposta de LEE et al. (1997), utilizando-se a seguinte fórmula: $FE=[(Ma/Fe)/(Mr/VRFe)]$. Onde, Ma é a concentração de determinado metal na amostra analisada; Fe é a concentração de ferro na amostra analisada; Mr é o metal analisado na área de referência; e VRFe é Valor de Referência do ferro estabelecido por Lima et al. (2018) para a região Serrana do Rio de Janeiro.

Com base nos valores calculados de FE, as amostras foram enquadradas em cinco classes de poluição proposta por Sutherland (2000), a saber: FE < 2 = poluição mínima ou não poluído; 2 < FE < 5 = poluição moderada; 5 < FE < 20 = nível significativo de poluição; 20< FE < 40 forte sinal de poluição e FE > 40 = extremamente poluído.

O Igeo, de MULLER (1979), foi empregado na avaliação da contaminação elementar do solo. Sendo utilizada a seguinte expressão: *Igeo = log2 (Ms / 1,5Mr)*. Onde Igeo - Indice de geoacumulação; Ma - concentração de determinado metal analisado; Mr - metal analisado da área de referência.Com base nos índices calculados, as amostras foram classificadas em uma das sete classes de contaminação, a saber: Igeo≤0 - Classe 0: não contaminado; 0 < Igeo < 1 - Classe 1: pouco contaminado a moderadamente contaminado; 1 < Igeo < 2 - Classe 2: moderadamente contaminado; 2 < Igeo < 3 – Classe 3: moderadamente contaminado a intensamente contaminado; 3 < Igeo < 4 – Classe 4: intensamente contaminado; 4 < Igeo < 5 - Classe 5: a intensamente contaminado a extremamente contaminado.

O IP é utilizado para avaliação da contaminação do solo por metais pesados, indicando o grau de severidade causada por tais elementos (WU et al., 2015), e é calculado pela razão entre a concentração pseudototal atual de cada metal (C_{atual}), e o seu respectivo Valor de Referência de Qualidade (VRQ) ($IP = C_{atual} / VRQ$), estabelecido para a região Serrana do Rio de Janeiro, em que C_{atual} é a concentração do metal pesado na amostra do local avaliado; VRQ refere-se à concentração de referência do metal estabelecido para a região. Com base nos índices calculados, as amostras foram classificadas em uma das quatro classes de contaminação, a saber: IP ≤ 1 = Não contaminado; 1 < IP ≤ 3 = Baixa contaminação; 3 < IP ≤ 5 = Moderada contaminação e IP > 5 = Severa contaminação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior valor de FE foi atribuído ao elemento Cd (Figura 1), apresentando um grau de poluição expressivo, cuja concentração variou entre 0 e 16, tendo o valor de mediana igual a 1,53, que indica baixo enriquecimento por este metal. No entanto, ao avaliar o valor máximo (FE = 15.35), observa-se que alguns pontos apresentam enriquecimento severo por este metal. Para estas mesmas amostras, as concentrações de Cu, Mn, Ni, Cr, Pb e Zn encontram-se na faixa de poluição mínima, variando entre 0 e 2.07.

Em relação ao Igeo (Figura 1), observa-se que a maior parte das amostras foram enquadradas na classe 1, tendo o valor da mediana igual a 0,61, indicando baixo grau de contaminação ou nenhuma contaminação. Entretanto, para o elemento Cd, as amostras apresentaram Igeo entre 0 e 3,91, enquadrando as amostras nas classe 1, 2 e 3, sendo classificadas como de baixa contaminação à intensamente contaminadas. Para os demais elementos, não foi identificado contaminação ficando os valores abaixo de zero.

Para o Índice de Poluição, a maior parte das amostras apresentaram valor ≤ 1, indicando ausência de contaminação para os elementos estudados. Entretanto, para o elemento Cd, as amostras apresentaram o valor mediano do IP igual a 2,29, ou seja, sendo boa parte das amostras classificadas como de baixa contaminação, no entanto algumas amostras apresentaram valores entre 3 e 22,5 para Cd, sendo classificadas de moderada e severa contaminação.

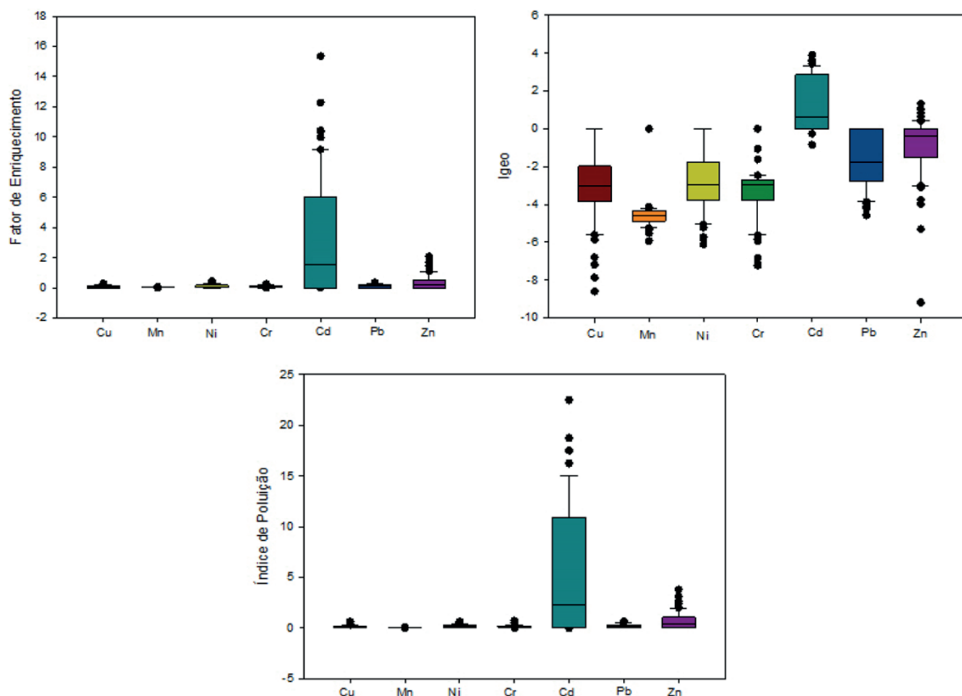



Figura 1: Índices geoquímicos (FE, Igeo e IP) de Cu, Mn, Ni, Cr, Cd, Pb e Zn determinados em áreas de produção de lúpulo na região Serrana, RJ.

Com base na avaliação dos três índices, observa-se que apenas o Cd apresentou, para algumas amostras, severa contaminação. As principais fontes antropogênicas associadas ao aporte de Cd no solo são provenientes de adubos fosfatados solúveis que possuem o elemento em sua composição (BIZARRO et al., 2006), podendo explicar a alta variabilidade dos índices na área estudada.

CONCLUSÕES

Os índices (Igeo, FE e IP) apresentam potencial para avaliação do grau de contaminação dos solos, podendo subsidiar futuras ações ambientais na região.

Todos os índices demonstraram que não há contaminação da área estudada para os elementos Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn. No entanto, para o elemento Cd, algumas

amostras apresentaram valores que se enquadram na classificação de moderada e severa contaminação, despertando maior preocupação com os possíveis impactos sobre esse agroecossistema e também na qualidade do lúpulo produzido na região

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a parceria, disponibilidade de área de pesquisa, suporte técnico e logístico fornecido pelo Grupo Petrópolis (Sede: Teresópolis) e aos Programas de Pós-graduação em Fitotecnia da UFRRJ e de Agronomia - Ciência do Solo da UFRRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, A. M., TEIXEIRA, A., FONSECA, M. D. O., de ASSIS, R. L., OZASSA, T., Teresópolis, R. J. (2022). **Produção de lúpulo na Região Serrana Fluminense: manual de boas práticas.**

BIZARRO, V. G., MEURER, E. J., & TATSCH, F. R. P. (2006). Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. **Ciência Rural**, 38, 247-250.

FRANCO, T. F.; LIMA, E. S. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CARMO, M. G. F.; BREDA, F. A. F. Enrichment and bioavailability of toxic lements in intensive vegetable production areas. **Revista Caatinga**. , v.33, p.124 - 134, 2020.

GONÇALVES, R. G. M.; SANTOS, C. A.; BREDA, F. A. F.; LIMA, ERICA SOUTO ABREU; CARMO, M. G. F.; SOUZA, C. C. B.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Cadmium and lead transfer factors to kale plants (Brassica oleracea var. acephala) grown in mountain agroecosystem and its risk to human health. **Environmental monitoring and assessment**, v.194, p.366 -, 2022.

KABATA-PENDIAS, A. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Taylor and Francis Group. **Boca Raton** (FL), 2011.

LEE, P.K.; TOURAY, J.C.; BAILLIF, & ILDEFONSE, J.P. **Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne**, France. Sci. Total. Environ., 201, 1-15, 1997.

LIMA, E.S.A.; MATOS. T de S.; PINHEIRO, H. S. K.; GUIMARÃES, L. D. D.; PÉREZ, D. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Soil heavy metal content on the hillslope region of Rio de Janeiro, Brazil: reference values**. Environmental monitoring and assessment**, v. 190, n 6, p. 1-11, 2018.

LU, Z.; CAI, M.; WANG, J.; YANG, H. & HE, J. Baseline values for metals in soils on Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica: the extent of anthropogenic pollution. **Environmental monitoring and assessment**, 184, 7013-7021, 2012.

MARCOS, J. A. M. et al. Guia del cultivo del lúpulo. [Galícia]: [s.n.], 2011.

MULLER, G. **Schwermetalle in den sediments des Rheins-Veran-derungen seitt** 1971. Umschan, 79, 778- 783, 1979.

NIST – National Institute Standards and Technology. Standard Reference Materials – SRM 2709 – San Joaquin Soil. **Baseline Trace Element Concentrations**. Certificate Issue Date: 18 July 2003.

PERAGINE, J. Growing your own hops, malts, and brewing herbs. **Ocala: Atlantic**, 2011. P

WU, S., PENG, S., ZHANG, X., WU, D., LUO, W., ZHANG, T., WU, L. (2015). Níveis e avaliações de risco à saúde de metais pesados em solos urbanos em Dongguan, China. **Jornal de Exploração Geoquímica** , *148* , 71-78.

CAPÍTULO 45

ESTUDO DA PRODUÇÃO VEGETAL DO MILHO ADUBADO COM FERTILIZANTES FOSFATADOS EM CASA DE VEGETAÇÃO

Data de aceite: 01/04/2024

Mariana Alves Figueiredo
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciências do Solo) - UFRRJ

David Vilas Boas de Campos
Pesquisador da Embrapa Solos

Queren Cabral de Abreu
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – UERJ

Ednaldo da Silva Araújo
Pesquisador da Embrapa Agrobiologia

RESUMO: O Brasil está entre os três países que mais produzem milho no mundo, no entanto, a alta produtividade está ligada ao uso de fertilizantes no solo, para que não ocorra deficiência de nutrientes para as plantas e atrapalhe o seu desenvolvimento. Este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento inicial do milho cultivado em vasos e adubado com diferentes fertilizantes fosfatados. O experimento foi realizado em casa de vegetação na Embrapa Agrobiologia, em Seropédica – RJ, onde foram realizados dois cultivos do milho, o primeiro com adubação e o segundo sem adubação, para avaliar a adubação residual no solo. A determinação da produção foi feita através da pesagem das amostras da parte aérea, obtendo o peso fresco e seco das plantas. Os fertilizantes Superfosfato Simples, Superfosfato Triplo e Fosfato Monoamônico foram os tratamentos que produziram maior massa entre os demais tratamentos no primeiro plantio. No segundo plantio, os fertilizantes menos solúveis, Fosfato Natural Reativo e Termofosfato, alcançaram valores similares aos outros tratamentos. Desta forma, foi possível observar que a adubação fosfatada é responsável pelo bom desenvolvimento da planta, mesmo em seus estágios iniciais.

PALAVRAS-CHAVE: adubação fosfatada, fósforo, nutrientes

STUDY OF VEGETABLE PRODUCTION OF CORN FERTILIZED WITH PHOSPHATE FERTILIZERS IN A VEGETATION HOUSE

ABSTRACT: Brazil is among the three countries that produce the most corn in the world, however, high productivity is linked to the use of fertilizers in the soil, so that nutrient deficiencies do not occur for the

plants and hinder their development. This study aimed to evaluate the initial growth of corn grown in pots and fertilized with different phosphate fertilizers. The experiment was carried out in a greenhouse at Embrapa Agrobiologia, in Seropédica – RJ, where two corn crops were grown, the first with fertilization and the second without fertilization, to evaluate the residual fertilization in the soil. Production was determined by weighing samples of the aerial part, obtaining the fresh and dry weight of the plants. The fertilizers Simple Superphosphate, Triple Superphosphate and Monoammonium Phosphate were the treatments that produced the highest mass among the other treatments in the first planting. In the second planting, the less soluble fertilizers, Reactive Natural Phosphate and Thermophosphate, reached values similar to the other treatments. In this way, it was possible to observe that phosphate fertilizer is responsible for the good development of the plant, even in its initial stages.
KEYWORDS: fertilizer, nutrients, phosphate phosphorus

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) considerado uma gramínea tropical (Zancanari, 2019), é o principal cereal cultivado no Brasil, com cerca de 124.879,7 mil t de grãos produzidos na safra 2022/2023 (CONAB, 2023), fazendo com que o Brasil seja considerado o terceiro maior produtor de milho no mundo (EMBRAPA, 2022). A produção do milho é destinada em diversas áreas, principalmente para a alimentação animal e humana.

No entanto, o desenvolvimento do milho pode ser afetado por conta da deficiência de nutrientes, levando a diminuição da produtividade da cultura. A altura das plantas é uma condição importante, pois quanto maior a altura dessas plantas, maior será a sua produtividade por conta do acúmulo de nutrientes em seus colmos (FAVARATO et al., 2016). O fósforo (P) é um macronutriente que tem importante papel no desenvolvimento do milho, atuando no armazenamento e transferência de energia nas células da planta, garantindo a realização de processos fundamentais para o desenvolvimento da cultura. Desta forma, a adubação fosfatada tem uma importância fundamental para a disponibilidade de um nutriente essencial para o milho, sendo capaz de aumentar a produção de MSPA, a altura da planta e os teores de P nas folhas (VELOSO et al., 2016).

Através de experimentos em casa de vegetação, é possível observar como a cultura se comporta através das técnicas de manejo que pretendem ser estudadas. Desta forma, foi realizada o experimento em casa de vegetação para avaliar o crescimento inicial do milho através da adubação fosfatada com diferentes adubos minerais comumente utilizados na agricultura, com o objetivo de avaliar o peso da parte aérea do milho, comparando os diferentes adubos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Agrobiologia, Seropédica – RJ, durante os meses de abril e maio de 2022. O solo utilizado foi do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, coletado na Fazendinha, também localizado em Seropédica – RJ, na camada de 0 a 30 cm. As características iniciais do solo antes da instalação do experimento estão apresentadas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Características químicas e granulométricas do solo Argissolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento em casa de vegetação.

pH H_2O	Al	Ca	Mg	Na	K	P	Acidez total	Valor S	Valor T	Valor V	C	Areia	Argila	Silte
	Cmol$_c$ dm^{-3}			mg dm^{-3}			Cmol$_c$ dm^{-3}			%		g kg^{-1}		
5,53	0,1	0,6	0,1	11,5	18,33	6,73	1,11	1,35	2,46	54,84	3,59	884,5	40	75,5

Obs.: Valores correspondentes as médias de quatro repetições.

Os tratamentos foram compostos por 5 fertilizantes minerais fosfatados, sendo eles: superfosfato simples (SS), superfosfato triplo (ST), fosfato natural reativo (FNR), termofosfato (T) e fosfato monoamônico (MAP); além de um tratamento controle, onde não houve aplicação de fertilizante. Para cada amostra foi calculada uma dose contendo 100 mg de P, de acordo com a quantidade de P de cada fertilizante.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições e as unidades experimentais foram vasos plásticos, com capacidade de 1 kg de solo, totalizando 24 vasos.

Todos os tratamentos, incluindo o tratamento controle, receberam 100 mL de uma solução nutritiva, sem adição de P, com composição expressa na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Composição da solução nutritiva completa, sem adição de P.

Nutriente	Conc. mg kg^{-1} solo	Fonte
N	160	Ureia
K	150	KCl
S	40	$MgSO_4$
B	0,81	H_3BO_3
Cu	1,33	$CuSO_4.5H_2O$
Fe	1,55	$FeCl_3.6H_2O$
Mn	3,66	$MnCl_2.4H_2O$
Mo	0,15	$Na_2MoO_4.2H_2O$
Zn	4,00	$ZnSO_4.7H_2O$

Para cada unidade experimental foi colocado 1 kg de solo e adicionados os fertilizantes revolvendo com solo em aproximadamente 5 cm de profundidade. Foram adicionados seis sementes de milho do tipo híbrido AG 8740 PRO3 em casa vaso, mantendo a irrigação diariamente. Foi realizado o desbaste das plantas que germinaram, cinco dias após o plantio, deixando apenas duas plantas por vaso.

Cinquenta e cinco dias após o plantio, foi realizada a coleta da parte aérea do milho, onde as amostras foram pesadas para obter o valor do seu peso fresco (MFPA). As plantas foram levadas para secar em estufa à 65ºC até o seu peso constante, que ocorreu dentro de cinco dias, após a secagem, as amostras foram pesadas novamente para a determinação do seu peso seco (MSPA).

Após a coleta das amostras da parte aérea do milho, foi realizado um segundo plantio, utilizando os mesmos vasos usados no primeiro plantio, para a verificação do adubação residual dos solos. A segunda coleta foi realizada em 64 dias após o segundo plantio e todas as etapas de pesagem e secagem das amostras foram repetidas, assim como no primeiro plantio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coletas da parte aérea das plantas foram realizadas quando o milho estava em seu estágio V5 (Figura 1), ou seja, com 5 folhas desenvolvidas.

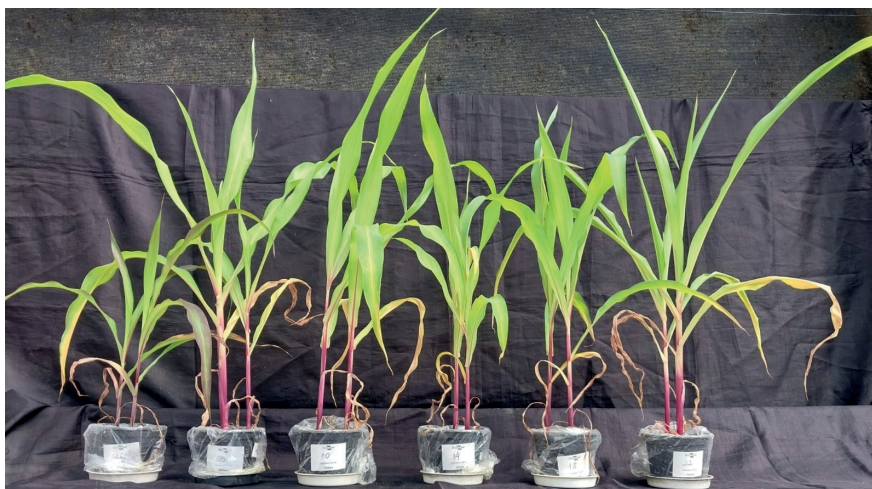



Figura 1: Milho em vaso adubado em casa de vegetação (1º ciclo): a) Controle sem adubação fosfatada; b) Super Simples; c) Super Triplo; d) Termofosfato; e) Fosfato Natural Reativo; f) Fosfato monoamônico.

De acordo com a figura 1, é possível observar que o tratamento que não recebeu adubação fosfatada foi o que menos se desenvolveu.

Os pesos fresco e seco das amostras do primeiro plantio obtidos após a coleta estão representados na Figura 2.

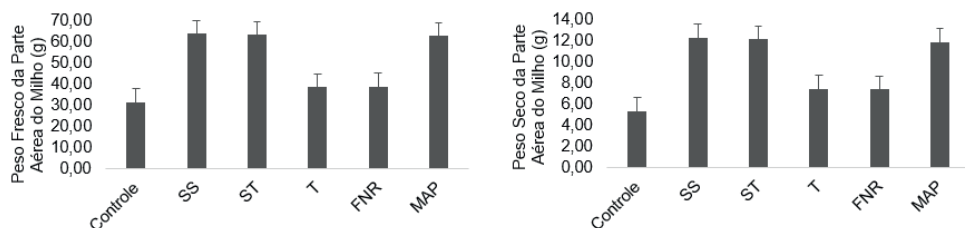



Figura 2: MFPA e MSPA do 1º plantio do milho adubado com fertilizantes minerais fosfatados em vasos em casa de vegetação, em g por vaso (barras de erro indicam o erro padrão da média de quatro repetições).

Para as duas variáveis, as amostras se comportaram da mesma forma. O tratamento controle obteve os menores valores com 31,46 g e 5,33 g, para os pesos fresco e secos, respectivamente, seguidos pelos tratamentos T e FNR, com MFPA de 38,57 g e 38,83 g e 7,44 g e 7,38 g, respectivamente, para os valores da MSPA. Os maiores valores de peso fresco e seco foram encontrados nos tratamentos com SS, ST e MAP, obtendo, respectivamente, 63,71 g, 63,47g e 62,92 g de MFPA e 12,29 g, 12,13 g e 11,87 g de MSPA.

As amostras do segundo plantio foram coletadas em seu estágio V5, da mesma forma como no primeiro ciclo do experimento. Os valores da MFPA e MSPA estão representados na Figura 3.

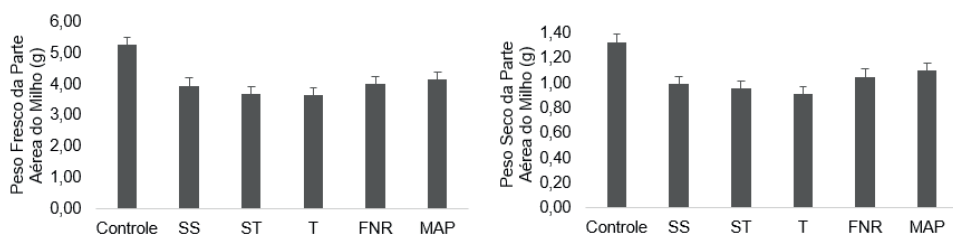



Figura 3: MFPA e MSPA do 2º plantio do milho adubado com fertilizantes minerais fosfatados em vasos em casa de vegetação, em g por vaso (barras de erro indicam o erro padrão da média de quatro repetições).

Foi possível observar que a MSPA do primeiro ciclo foi maior que o segundo ciclo, que pode ser explicado pelo balanceamento dos nutrientes, já que no primeiro ciclo, todos os nutrientes, sejam eles na forma de adubos fosfatados ou na forma de solução nutritiva, tinham sido adicionados de acordo com a necessidade da cultura, extraindo os nutrientes do solo, fazendo com que no segundo plantio, os nutrientes já não estivessem presentes

de forma balanceada no solo. A disponibilidade dos nutrientes é um dos fatores que mais influenciam no desenvolvimento das plantas. Isso explica o porquê do tratamento controle ter obtido a maior massa entre os outros tratamentos que receberam adubação fosfatada. No segundo plantio, o P foi o nutriente limitante, impossibilitando o desenvolvimento das plantas

CONCLUSÕES

De acordo com o estudo, as plantas que mais se desenvolveram foram as que receberam os fertilizantes SS, ST e MAP e isso se deve por conta da liberação mais rápida de nutriente destes fertilizantes. Os fertilizantes T e FNR são menos solúveis, por isso que apenas no segundo plantio esses tratamentos obtiveram resultados similares aos tratamentos com os fertilizantes mais solúveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento. Produção de grãos da safra 2022/2023 está estimada em 310,9 milhões de t, aponta levantamento da Conab**. ConabCast, 2023. Disponível em:< https://cast.conab.gov.br/post/2023-01-13_4_lev_graos/>. Acesso em: 01 mai. 2023.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v. 10 – Safra 2022/23, n. 7, p. 1-106, 2023. Disponível em: < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 15 abr. 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Brasil pode superar a Índia em 2023 na produção de grãos**. Estudos socioeconômicos e ambientais, 2022. Disponível em: < https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73611968/brasil-pode-superar-a-india-em-2023-na-producao-de-graos>. Acesso em: 01 mai. 2023.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M. de; GUARCONI, R. C.; BALBINO, J. M. de S. **Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico**. Bragantia, v. 75, n. 4, 2016, p. 497-506.

VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R.; CARVALHO, E. J. M.; FILHO, A. S.; SOUZA, F. R. S. de. **Adubação fosfatada em cultivares de milho sob Latossolo Vermelho Distrófico da Mesorregião Sudeste Paraense**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 109. Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

ZANCANARI, N. S**. Anatomia e morfologia de plantas de milho com diferentes números de alclos transgênicos**. 2019. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2019.

CAPÍTULO 46

FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO EM ÁREAS COM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO, REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Data de aceite: 01/04/2024

Mateus Belarmino Da Silva
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Caio Simões dos Santos Nicolau
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Doutorando (PPGA–CS/UFRRJ)

Priscila Silva Matos
Pós doutoranda (PPGA–CS/UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

Everaldo Zonta
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: Em função dos solos arenosos presentes na Baixada Fluminense, o uso de sistemas de manejo que promovam a manutenção e/ou o aumento dos teores de matéria orgânica do solo é de grande importância. O objetivo deste estudo foi avaliar diferentes frações de carbono orgânico sob diferentes plantas de cobertura, sendo estas: Milheto, Feijão de porco e Crotalária juncea, cultivadas isoladamente e em consórcio, além de plantas espontâneas, no sistema de preparo convencional do solo e no sistema plantio direto. Foram coletadas amostras na profundidade de 0-0,1 m e realizadas análises para quantificação do carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e carbono lábil (POXC). Não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados quanto aos teores de COT e C-BMS. O teor de carbono lábil apresentou diferença significativa entre as plantas de cobertura no sistema de preparo convencional do solo, onde o Feijão de porco apresentou o maior incremento de carbono lábil quando incorporado ao solo.

PALAVRAS-CHAVE: baixada fluminense, matéria orgânica do solo, sustentabilidade.

ORGANIC CARBON FRACTIONS IN AREAS WITH DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS, RIO DE JANEIRO METROPOLITAN REGION

ABSTRACT: Due to the sandy soils in Baixada Fluminense, the use of management systems that promote the maintenance and increase of soil organic matter levels is of great importance. The

objective of this study was to evaluate different fractions of organic carbon under different cover crops, namely millet, Crotalaria juncea and jack bean, cultivated alone and in intercropping, in addition to weeds, in the conventional tillage system and the no-tillage system. Samples were collected at a depth of 0-0,1 m, and analyses were carried out to quantify total organic carbon (TOC), microbial biomass carbon (C-BMS) and labile carbon (POXC). There was no significant difference between the treatments evaluated regarding TOC and C-BMS levels. The labile carbon content showed a significant difference between the cover crops in the conventional tillage system. The jack bean showed the greatest increase in labile carbon when incorporated into the soil.
KEYWORDS: baixada fluminense, soil organic matter, sustainability.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica é um fator limitante para o cultivo em alguns solos, principalmente os arenosos que apresentam baixos teores no perfil do solo (FONTANA et al., 2021). Na região metropolitana (baixada fluminense), o aumento da presença de solos arenosos, reflete preocupação em relação ao indicador químico, pois, solos arenosos geralmente apresentam baixa capacidade de troca catiônica, saturação de bases e fertilidade devido ao seu material de origem.

O uso e manejo dos solos arenosos também depende das concentrações de matéria orgânica no solo, principalmente, em cultivo de hortaliças, cujo ciclo é curto, e o revolvimento do solo em curto espaço de tempo pode acelerar o processo de degradação das propriedades físicas e químicas do solo. Nesse sentido a avaliação das frações de carbono orgânico nesses solos e fundamental para o monitoramento da eficiência dos manejos. Objetivou-se com o estudo, avaliar os teores de carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico lábil da camada superficial do solo em áreas de sistema de preparo convencional e sistema plantio direto com diferentes plantas de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa propriedade com certificação orgânica afiliada a Associação de Agricultores Biológicos, localizada na reta dos 800, Piranema - Seropédica Rio de Janeiro. O experimento foi composto por blocos casualizados com três repetições e esquema fatorial 2 x 6 com parcelas subdivididas que obteve dois tratamentos (sistema de plantio direto – SPD e preparo convencional do solo – SPC) e seis sub tratamentos que foram as plantas de cobertura cultivadas isoladas (Milheto, Crotalária juncea e Feijão de porco) e o cultivo em consórcio com dois coquetéis (100% e 50% da recomendação da semente) e por último o sub tratamento com a manutenção das plantas espontâneas na área. A área total do experimento foi estabelecida em 864 m^2 com parcelas dos sistemas de manejo de 144 m^2 (24x6) e as sub parcelas com as plantas de cobertura totalizaram uma área de 24 m^2 (6x4m).

A amostragem foi realizada na camada de 0-0,1 m na entrelinha, nas quais foram coletadas amostras compostas oriundas de 5 amostras simples. Após a coleta, as amostras foram transportadas para o laboratório em condições de temperatura inferior a 4 ºC, utilizando caixa térmica com gelo. No laboratório as amostras foram destorroadas e passadas por peneira de 2,00 mm de diâmetro de malha e acondicionadas em geladeira a 4 ºC por uma semana, até o início das análises. A determinação da umidade do solo na ocasião da coleta foi realizada pelo método gravimétrico (Ugc) (TEIXEIRA et al., 2017). O carbono orgânico total (COT) foi determinado via oxidação úmida da matéria orgânica do solo segundo YEOMANS; BREMNER (1988).

O método da fumigação-extração foi utilizado para quantificar o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), descrito em DE-POLLI; GUERRA (1999). O quociente microbiano (qMic) foi calculado e obtido segundo ANDERSON et al. (1993). O carbono orgânico lábil do solo foi quantificado via oxidação com solução de $KMnO_4$ 0,02 mol L^{-1} (POXC) (WEIL et al., 2003; CULMAN; FREEMAN; SNAPP, 2012), e posteriormente, calculada a relação entre POXC e COT, expressa em porcentagem (PorcPOXC).

O estudo foi analisado estatisticamente em esquema fatorial 2 × 6 em delineamento de blocos ao acaso. Os dados COT, C-BMB, qMic, POXC e PorcPOXC foram analisados quanto a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. As variáveis que não apresentarem distribuição normal ou homogeneidade foram transformadas de acordo com o teste de Box-Cox e foram novamente testadas. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste de F (ANOVA) quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos (variáveis transformadas ou não) e suas médias comparadas pelo teste de Tukey. Nos casos em que a transformação dos dados foi ineficiente, o teste de Kruskall-Wallis seguido pelo critério de diferença mínima significativa de Fisher foram utilizados para a avaliação dos sistemas de manejo e o teste de Wilcoxon foi utilizado para comparar variáveis entre as plantas de cobertura. Os testes estatísticos foram realizados à 5% de significância pelo Software R (R CORE TEAM, 2020) com os pacotes “ExpDes.pt” e “Ggplot2”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que não houve diferença entre as variáveis carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e quociente microbiano (qMic) para nenhum dos fatores avaliados (Tabela 1). Possivelmente esse resultado pode estar associado ao tempo de adoção dos sistemas (5 anos), que por sua vez não foi suficiente para promover mudanças significativas nos teores de carbono do solo. A adoção do sistema de plantio direto para a produção de hortaliças na agricultura orgânica é considerada uma estratégia importante para a conservação e melhoria da qualidade do solo a longo prazo.

Tabela 1: Teores de carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e quociente microbiano (qMic) nas áreas com diferentes sistemas de manejo e plantas de cobertura, região Sudeste do Brasil

Cob	SPD	SPC	$\overline{X}_1$	SPD	SPC	$\overline{X}_1$	SPD	SPC	$\overline{X}_1$
	COT (g kg^{-1})			C-BMS (mg kg^{-1})			qMic (%)		
C1	19,70	19,93	19,82 A	106,36	158,80	132,58 A	0,56	0,80	0,68 A
C2	19,40	21,17	20,28 A	97,23	113,80	105,52 A	0,50	0,54	0,52 A
CJ	20,63	16,63	18,63 A	120,64	123,18	121,91 A	0,58	0,74	0,66 A
FP	20,37	21,53	20,95 A	128,21	124,28	126,25 A	0,64	0,60	0,62 A
M	19,80	18,93	19,37 A	138,65	114,19	126,42 A	0,70	0,60	0,65 A
PE	19,13	19,97	19,55 A	76,55	139,79	108,17 A	0,41	0,70	0,56 A
$\overline{X}_2$	19,84 a	19,69 a		111,27 a	129,01 a		0,57 a	0,66 a	
Sist	*p-valor* > 0,81			*p-valor* > 0,10			*p-valor* > 0,10		
Cob	*p-valor* > 0,38			*p-valor* > 0,60			*p-valor* > 0,59		
Sist*Cob	*p-valor* > 0,13			*p-valor* > 0,15			*p-valor* > 0,35		
CV%	9,40			25,80			28,60		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem os sistemas avaliados. Mesma letra maiúscula não diferem as coberturas vegetais. C1: Coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: Coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalária; PE: Feijão-de-porco; M: Milheto; SP: Plantas espontâneas. SPD: Sistema plantio direto; SPC: Sistema de preparo convencional. $\overline{X}_1$: Média geral da cobertura vegetal; e $\overline{X}_2$: Média geral do sistema. ANOVA com a aplicação do Teste de Tukey ($p<0,05$).

Para os teores de carbono orgânico lábil (POXC) a interação entre sistema e cobertura foi significativa no qual as plantas de cobertura se diferenciaram no SPC, no qual a maior média foi observada em FP e a menor média em C1 comparado aos demais tratamentos (Tabela 2). Possivelmente a relação C/N dessa leguminosa está sendo um fator preponderante, uma vez que dentre os tratamentos avaliados, o FP possui a menor relação C/N (13-14) (dados não publicados). De acordo com CASTRO et al. (2018), a qualidade e a permanência da matéria orgânica no solo estão relacionadas à relação C:N, em que quanto menor for essa relação, maior é a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos, enquanto a maior relação C:N ocasiona a degradação mais lenta desses resíduos. Portanto, nas situações em que as condições edafoclimáticas favorecem a decomposição da MO do solo e a perda de nutrientes, o uso de plantas leguminosas como o feijão de porco pode servir de ferramenta importante para promover estoques de C e N no solo.

Tabela 2: Teores de carbono orgânico lábil (POXC) e suas respetivas porcentagens (PorcPOXC) nas áreas com diferentes sistemas de manejo e plantas de cobertura, região Sudeste do Brasil

Cob	SPD	SPC	$\bar{X}_1$	SPD	SPC	$\bar{X}_1$
		POXC (mg kg^{-1})			PorcPOXC	
C1	488 Aa	348 Bb	418	2,50	1,74	2,12 A
C2	368 Aa	473 ABa	420	2,00	2,24	2,10 A
CJ	467 Aa	415 ABa	441	2,26	2,45	2,36 A
FP	473 Aa	533 Aa	503	2,33	2,50	2,41 A
M	477 Aa	486 ABa	482	2,42	2,59	2,50 A
PE	458 Aa	430 ABa	444	2,42	2,15	2,29 A
$\bar{X}_2$	455	447		2,31 a	2,28 a	
Sist		*p-valor* > 0,7			*p-valor* > 0,7	
Cob		*p-valor* > 0,2			*p-valor* > 0,4	
Sist*Cob		*p-valor* < 0,05*			*p-valor* > 0,2	
CV%		14,70			16,80	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem os sistemas avaliados. Mesma letra maiúscula não diferem as coberturas vegetais. C1: Coquetel 100% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; C2: Coquetel 50% da recomendação de sementes das plantas de coberturas; CJ: Crotalária; PE: Feijão-de-porco; M: Milheto; SP: Plantas espontâneas. SPD: Sistema plantio direto; SPC: Sistema de preparo convencional. $\bar{X}_1$: Média geral da cobertura vegetal; e $\bar{X}_2$: Média geral do sistema. ANOVA com a aplicação do teste de Tukey (p<0,05).

CONCLUSÕES

O uso de plantas de coberturas leguminosas como o feijão de porco, quando incorporadas no sistema convencional tem potencial de aumentar os teores de Carbono lábil do solo mesmo em curto prazo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CAPES, CNPq, FAPERJ e PPGA-CS/UFRRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO_2 (qCO_2) as a specific activity paramenter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

CASTRO, G. C.; VIEIRA, C. R.; WEBER O. L. S. Carbono orgânico e nitrogênio total nas frações granulométricas e húmicas em solos sob diferentes texturas. **Nativa**, 6(6):575-581, 2018. 10.31413/nativa.v6i6.5378.

CULMAN S. W.; FREEMAN M. & SNAPP S. S. Procedure for the determination of permanganate oxidizable carbon. Kellogg Biological Station-Long Term Ecological Research Protocols, Hickory Corners, MI, 2012.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração. Seropédica: Embrapa-CNPAB, p. 10, 1997.

FONTANA, A. PEREIRA, M. G.; DOS SANTOS, J. J. S.; DONAGEMMA, G. K.; DOS SANTOS, O. A. Q. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída. **Revista Agrogeoambiental**, v.13, n.3, p. 606-614, 2021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA. A.; TEIXEIRA, W. G. . Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: Embrapa, Livro técnico (INFOTECA-E), 3. ed. rev. e ampl. 573p, 2017.

WEIL, R. R.; ISLAM, K. R.; STINE, M. A.; GRUVER, J. B.; & SAMSON-LIEBIG, S. E. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for lab and field use. **Am. J. Altern. Agric.** 18, 3-17, 2003.

YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19:1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 47

TEORES DE FÓSFORO POR QUANTIFICADOS POR DIFERENTES MÉTODOS EM CHERNOSSOLOS DO AMBIENTE DE MAR DE MORROS EM PINHEIRAL, RJ

Data de aceite: 01/04/2024

Matheus da Silva Carvalho
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Amanda Sales Alves
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Ciência do Solo (UFRRJ)

Alice Maria Goulart Ribeiro
Estudante de graduação em Engenharia Florestal (UFRRJ)

João Pedro Coumendouros Scott
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

Lucia Helena Cunha dos Anjos
Professora do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo deste estudo foi comparar diferentes métodos de quantificação dos teores de fósforo (P), Mehlich-1, Olsen e P remanescente (Prem), em diferentes perfis de Chernossolos em Pinheiral, RJ. Os perfis foram classificados no segundo nível categórico como: Argilúvico (P1 e P2), Háplico (P3) e Ebânico (P4). Além da determinação de P, também se determinou os teores de argila, valores de pH, em água e KCl, e ΔpH. Os atributos foram submetidos ao teste de correlação de Pearson a nível de 5 % de significância. Os valores de P determinados pelo Mehlich-1 foram superiores aos quantificados pelo método de Olsen, em todos os perfis. Não foi observada correlação significativa entre os teores de P determinados pelos diferentes métodos e o pH ou o ΔpH. Em contrapartida, observou-se correlação significativa e negativa entre os valores de Prem e o teor de argila. Os valores de Prem foram maiores no Chernossolo Argilúvico e Chernossolo Ebânico (P2 e P4), devido aos menores valores de argila. Não foi verificada correlação entre os diferentes métodos de determinação de P.

PALAVRAS-CHAVE: A chernozêmico, fertilidade do solo, Mehlich-1, Olsen, remanescente.

EVALUATION OF PHOSPHORUS CONTENTS USING DIFFERENT METHODS IN CHERNOSSOLOS FROM THE ENVIRONMENT OF MAR DE MORROS IN PINHEIRAL, RJ

ABSTRACT: The objective of this study was to compare different methods of quantifying the contents of phosphorus (P), Mehlich-1, Olsen, and remaining P (Prem), in different profiles of Chernossolos in Pinheiral, RJ The profiles were classified at the second categorical level as: Argilúvico and P2), Háplico (P3) and Ebânico (P4). In addition to determining P, clay content, pH values in water and KCl, and ΔpH were also determined. The attributes were subjected to the Pearson correlation test at a 5 % significance level. The P values determined by Mehlich-1 were higher than those quantified by the Olsen method, in all profiles. No significant correlation was observed between the P levels determined by the different methods and pH or ΔpH. On the other hand, a significant and negative correlation was observed between Prem values and clay content. The Prem values were higher in the Chernossolo Argilúvico and Chernossolo Ebânico (P2 and P4), due to the lower clay values. No correlation was found between the different P determination methods.
KEYWORDS: Mehlich-1, mollic horizon, Olsen, P Remnant, soil fertility.

INTRODUÇÃO

O fosforo (P) é um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas. A dinâmica deste elemento no solo está relacionada, principalmente, à mineralogia, aos teores de argila, matéria orgânica e aos valores de pH (NOVAIS et al., 2007; DONAGEMMA et al.,2008)

Em função da complexidade desse elemento no solo existem diferentes métodos de análise para a sua determinação. Esses métodos, baseiam-se na simulação do comportamento das raízes dos vegetais em extrair este nutriente do solo, sendo utilizadas diferentes soluções extratoras em função dos valores de pH do solo. No Brasil, como os de maior expressão, destacam-se o Mehlich-1 e o de Olsen, sendo o primeiro o mais largamente adotado nos laboratórios, por ser um método de fácil realização, com rápida decantação e sem necessidade de filtragem. Entretanto, esse método não é recomendado para solos com pH alcalinos (SILVA;RAIJ, 1999) sendo o mais indicado para essas condições o método de Olsen, apesar deste método apresentar algumas limitações, como a necessidade de filtragem e obtenção do extrato em uma coloração amarelada (OLSEN et al., 1954).

Um outro método que tem sido utilizado nos laboratórios de rotina, é a determinação do fósforo remanescente (Prem) que determina a capacidade máxima de adsorção de P (TEIXEIRA et al., 2017). O Prem apresenta uma estreita relação com os teores de argila e o ΔpH, pois quanto maiores os teores de argila e presença de cargas eletropositivas, provavelmente mais adsorvido vai estar o P. Diante disso, o objetivo deste estudo foi comparar os teores de fósforo (P) quantificados pelos métodos de Mehlich-1 e Olsen, e a sua relação com o P remanescente em diferentes perfis de Chernossolos, localizados no município de Pinheiral- RJ.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Pinheiral, situado no estado do Rio de Janeiro, entre as latitudes 22°29'03"S e 22°35'27"S e entre as longitudes 43°54'49"W e 44°04'05"W. O município abrange uma área de 76,53 km^2 e está situado na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Foram selecionados quatro perfis de Chernossolos, a saber: Argilúvico (P1 e P2), Háplico (P3) e Ebânico (P4). Nos perfis, foram coletadas amostras deformadas de terra para a determinação dos teores de P pelos métodos de Olsen (OLSEN et.al.,1954), Mehlich-1 e Prem, os teores de argila total, pH em água e em KCl (TEXEIRA et al., 2017).

Para a quantificação dos teores de P pelo método de Olsen, foi utilizado uma solução alcalina tamponada de $NaHCO_3$ 0,5 mol L^{-1} a pH 8,5, na proporção solo: extrator 1:20 (OLSEN et al., 1954). Para a determinação do Prem, foi utilizada uma solução de CaCl 0,01 mol L^{-1} contendo 60mg L^{-1} de H_2PO_4, na proporção solo: extrator 1:10, Para a determinação do P pelo método Mehlich-1, foi utilizada solução extratora duplo-ácido com HCl 0,05 mol L^{-1} e H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}, na proporção solo: extrator 1:10. Após a extração pelos três diferentes métodos, os teores de P foram quantificados com o auxílio de espectrofotômetro. Os resultados de P para os métodos de Olsen e Mehlich-1 foram expressos em mg kg^{-1}, e o Prem, em mg L^{-1}.

Os valores de pH (H_2O e KCl), ΔpH (pH em H_2O – pH em KCL), teores de argila e P (Mehlich-1, Olsen e Prem), foram submetidos ao teste Pearson ao nível de 5 % de significância, com utilização do software R (R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de P obtidos pelos métodos de Mehlich-1 foram superiores aos quantificados com o emprego do extrator Olsen em quase todos os horizontes subsuperficiais dos perfis estudados, com destaque para os perfis 1 e 2 (Tabela 1). Segundo PESSOA JÚNIOR (2016), o método de Mehlich-1 superestima os teores de P disponível, principalmente em solos de pH mais alcalino, como os solos em estudo por exemplo.

Tabela 1: Valores de pH, teores de argila e fósforo obtidos por diferentes métodos de extração.

Horizonte	Prof	Argila	pH	ΔpH	P (Mehlic)	P (Olsen)	P Remanescente
	(cm)	(%)	(H_2O)		--------------------mg kg^{-1}--------------------		
			Chernossolo Argilúvico (P1)				
A	0,00 - 0,15	26	6,20	-1,25	6,2	6,4	32,45
AB	0,15 - 0,25	30	6,23	-1,28	4,4	5,2	28,60
BA	0,25 - 0,38	37	6,70	-1,30	2,4	5,3	27,26
B	0,38 - 0,72	32	6,50	-1,55	3,3	6,3	25,72
BC	0,72 - 0,87	34	6,50	-1,67	14,4	5,1	23,82
C	0,87 - 1,17+	21	6,48	-1,78	27,9	6,4	28,44
			Chernossolo Argilúvico (P2)				
A	0,00 - 0,21	23	6,70	-1,65	4,6	4,7	32,55
AB	0,21 - 0,34	32	6,70	-1,72	1,1	4,8	32,14
B	0,34 - 0,54	35	6,30	-1,34	5,9	5,0	25,26
C	0,54 - 1,00+	25	6,40	-1,13	33,6	6,0	31,12
			Chernossolo Háplico (P3)				
A	0,00 - 0,11	30	5,90	-1,18	7,5	5,2	33,89
AB	0,11 - 0,29	30	6,00	-1,30	7,6	5,4	36,10
BA	0,29 - 0,48	39	6,00	-1,28	6,4	4,8	27,57
B	0,48 - 0,71	31	6,10	-1,28	8,1	3,7	19,14
BC	0,71 - 0,87	26	6,50	-1,30	3,5	3,8	22,89
			Chernossolo Ebânico (P4)				
A1	0,00 - 0,10	21	6,20	-1,16	7,2	4,2	38,36
A2	0,10 - 0,23	22	6,30	-1,74	3,1	3,8	38,87
AB	0,23 - 0,33	23	6,10	-1,71	7,0	3,0	38,77
BA	0,33 - 0,52	24	6,10	-1,78	6,8	3,1	49,82
B1	0,52 - 0,74	24	6,10	-1,89	8,1	3,3	48,33
B2	0,74 - 1,00+	23	6,20	-1,83	8,4	3,0	33,74

Este fato se deve à elevada acidez da solução extratora (pH ≈ 1,5), que intensifica a liberação de P, ainda mais em solos pouco intemperizados e com grande disponibilidade de cálcio (Ca^{+2}) (PESSOA JÚNIOR, 2016), que favorece a formação de fosfato de cálcio, um composto com baixa solubilidade que reduz a disponibilidade do P no solo (WHITE ;TAYLOR, 1977).

Os resultados obtidos demonstraram relação (positiva) entre os valores de pH e os teores de P determinados pelo método de Olsen, devido ao pH do solo estar mais próximo de 7 e ao valor do pH da solução alcalina ($NaHCO_3$) estar próximo de 8,5. Diante disso, verifica-se que quanto maior o pH, os valores de P tendem a ser maiores quando determinados com o emprego do método de Olsen.

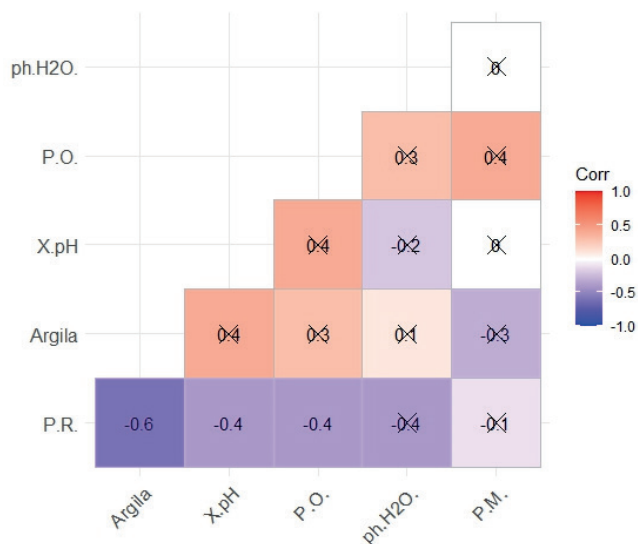
A partir da matriz de correlação de Pearson, foi possível observar correlação significativa e negativa entre os teores de Prem e a fração argila (Figura 1). Através da análise desse resultado, verifica-se que com o aumento do teor de argila, diminui-se os valores de Prem.

Legenda: X.pH: ΔpH = pH KCl – pH H_2O; P.M.: fósforo determinado pelo método Mehlich-1; P.O.: fósforo determinado pelo método de Olsen; P.R.: fósforo remanescente.

Figura 1: Matriz de correlação de Pearson a 5% de significância entre as variáveis e os diferentes métodos de quantificação de P.

Em relação ao Prem, os valores variaram em torno de 19 a 49 mg L^{-1}, sendo os menores valores quantificados nos horizontes subsuperficiais de P1 (Chernossolo Argilúvico) e P3 (Chernossolo Háplico). Os menores valores podem ser explicados pelo maior conteúdo de argila nos horizontes superficiais desses perfis.

CONCLUSÕES

Os valores obtidos pelo método Mehlich-1 foram superiores aos determinados pelo método de Olsen em todos os perfis estudados, devido ao pH mais alto, não refletindo os reais valores de P disponível.

Os teores de Prem foram maiores nos perfis Chernossolo Argilúvico e Chernossolo Ebânico (P2 e P4), devido aos menores valores de argila.

Devido ao baixo grau de pedogênese e à natureza das argilas de alta atividade, os valores de ΔpH indicaram o predomínio de cargas eletronegativas, o que pode ter contribuído para maior disponibilidade de P determinado pelo método do P remanescente.

AGRADECIMENTOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OLSEN, S.R. et al. **Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate**. (USDA. Circular, 939) Washington: USDA, 1954. 22 p.

PESSOA JUNIOR, E.S.F. **Estudo dos métodos de extração e comportamento do fósforo na Terra Preta Arqueológica da mesorregião Central do estado do Amazonas**. 2016. 70 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.

R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING. R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Áustria, 2023.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; VENEGAS, V. H. A.; KER, J. C.; FONTES, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamento na análise textural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1785-1791, 2008.

SILVA, F.C.; RAIJ, B.V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

TEIXEIRA, P.C. et al. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171907/1/ManualdeMetodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf. Acesso em: 13 ago. 2019.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

WHITE, R.E.; TAYLOR, A.W. Effect of pH on phosphate adsorption and isotopic exchange in acid soils at low and high additions of soluble phosphate. **Journal of Soil Science**, v. 28, n. 1, p. 48-61, 1977.

BIOMASSA MICROBIANA E CARBONO LÁBIL COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO NO JARDIM BOTÂNICO DA UFRRJ

Data de aceite: 01/04/2024

Matheus Corrêa de Oliveira
Estudante degraduação em Agronomia (UFRRJ)

Isabella Silva Lopes
Estudante de Engenharia Florestal (UFRRJ)

Ingryd Cardoso Estaky Cabral
Estudante de graduação em Engenharia agrícola e ambiental (UFRRJ)

Cristiane Figueira da Silva
Pós doutoranda (PPGA–CS/UFRRJ)

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Doutorando (PPGA–CS/UFRRJ)

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: As áreas de parques naturais e jardins botânicos desempenham um papel essencial na conservação da biodiversidade e na prestação de serviços ecossistêmicos. Com base no exposto, o objetivo do estudo foi avaliar os teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e carbono orgânico lábil (POXC), e os valores de seus respectivos índices em relação ao carbono orgânico total em uma topossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Foram coletadas amostras de terra na camada de 0–10cm em áreas de Argissolo Vermelho-Amarelo (terço superior da paisagem), Argissolo Amarelo (terço médio) e PlanossoloHáplico (terço inferior) sob diferentes coberturas vegetais. Foi observada diferença para os teores de carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico lábil nos diferentes terços da paisagem, com destaque para o terço médio da encosta.Esses resultados podem estar associados à posição da paisagem em função de uma maior influência do ao lençol freático, indicado efeito da umidade no solo nos teores de C-BMS e POXC.

PALAVRAS-CHAVE: indicadores de qualidade do solo, matéria orgânica do solo, topossequência

MICROBIAL BIOMASS AND LABILE CARBON AS INDICATORS OF SOIL QUALITYIN THE BOTANICAL GARDEN OF THE UFRRJ

ABSTRACT: Natural park areas and botanical gardens play an essential role in conserving biodiversity and providing

ecosystem services. Based on the above, the objective of the study was to evaluate the carbon contents of soil microbial biomass (C-BMS) and labile organic carbon (POXC), and the values of their respective indices in relation to total organic carbon in a toposequence under different vegetation covers, in the Botanical Garden of the Federal Rural University of Rio de Janeiro. Soil samples were collected in the 0–10cm layer in areas of Argissolo Vermelho-Amarelo (upper third of the landscape), Argissolo Amarelo (middle third) and Planosol Háplico (lower third) under different vegetation covers. A difference was observed in the carbon content of microbial biomass and labile organic carbon in the different thirds of the landscape, with emphasis on the middle third of the slope. These results may be associated with the position of the landscape due to a greater influence of the water table, indicated effect of soil moisture on C-BMS and POXC levels.
KEYWORDS: soil quality indicators, soil organic matte, toposequence

INTRODUÇÃO

Ambientes conservados, como parques naturais, possuem fundamental importância na preservação da biodiversidade local, além de serem indispensáveis prestadores de serviços ecossistêmicos, como a purificação do ar, absorção de água das chuvas, proteção do solo contra erosão e a fixação do carbono atmosférico (MUÑOZ; FREITAS, 2017).A matéria orgânica do solo (MOS) possui umaestreita relação com esses serviços ecossistêmicos, por ser importante contribuinte para a retenção de água e nutrientes no solo, além de cumprir um papel fundamental no estoque de carbono.

A biomassa microbiana do solo (BMS) corresponde à fração viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, participando de processos biológicos e bioquímicos do solo(PINTO et al., 2019). O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS)é considerado um excelente indicador de qualidade do solo, pois é intensamente influenciado pelo manejo do solo e por condições ambientais(DIONÍSIO, 2016).Porém, somente o C-BMS não é suficiente para avaliar a biomassa microbiana do solo, diante disso, para uma melhor compreensão torna-se necessário a avaliação da fração ativa como um todo (SILVA, 2014). Em áreas de parque natural no Sudeste do Brasil, PINTO et al. (2019) observaram que BMS se mostrou mais sensível aos efeitos da sazonalidade (período seco e chuvoso) em comparação aos efeitos promovidos pelos diferentes tipos de cobertura vegetal.

O carbono orgânico lábil(POXC), por ser integrante de compostos orgânicos mais facilmente mineralizados pelos microrganismos, apresenta forte correlação com a biomassa microbiana do solo, sendo então, considerado como um potencial indicador desta(RANGEL et al., 2008). O POXC desempenha um papel significativo nas principais funções do solo, tais como no ciclo e na disponibilidade de nutrientes; na rotação e fornecimento de nitrogênio microbiano; na acumulação de carbono; e na agregação (WEIL; MAGDOFF, 2004).Também em áreas de parque natural no Sudeste do Brasil, SCHULTZ et al. (2019) verificaram maiores teores de POXC em agregados biogênicos oriundos deáreas de

vegetação arbórea sob Argissolo Vermelho-Amarelo. Segundo os autores, os resultados de POXC em conjunto aos dados de carbono orgânico particulado e associado aos minerais indicam que os agregados biogênicos favorecem a proteção e estabilização do carbono no solo, assim como se apresentam como potenciais reservatórios de nutrientes. Objetivou-se com o estudo, avaliar os teores de C-BMS e POXC, e os valores dos seus respectivos índices em relação ao carbono orgânico total em uma topossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Jardim Botânico (JB) da UFRRJ, na Baixada Fluminense do estado do Rio de Janeiro, município de Seropédica, com coordenadas geográficas 22o 45' 48.74'' latitude Sul e 43o 41' 19.01'' longitude Oeste, com altitude próxima de 33 m. O clima é tropical úmido (Aw, de acordo com a classificação de Köppen) e o relevo suave ondulado.

A amostragem foi realizada com a distribuição de pontos em três áreas, localizadas numa topossequência, a saber: área 1 (terço superior) localiza-se na parte mais alta da paisagem e caracterizada pelas famílias Rubiácea, Lecythidaceae, Sapindaceae,Chrysobalenaceae e Fabaceae; área 2 (terço médio) é caracterizada pela predominância de Poaceae (gramíneas) rasteira e ausência de árvores; e área 3 (terço inferior) está localizada na parte mais baixa onde verificam-se árvores das famílias Euphorbiaceae, Fabaceae, Meliaceae, Myrtaceae e Sapotaceae. De acordo com PINHEIRO JUNIOR et al. (2022), as classes de solos apresentadas no terço superior, médio e inferior da paisagem, são respectivamente, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Amarelo e PlanossoloHáplico, classificados segundo SANTOS et al. (2018). Foi coletado e analisado amostras de solo em cada uma das áreas selecionadas, na camada de 0–10 cm profundidade, quatro amostras simples de solo para perfazer uma amostra composta, em um total de cinco amostras compostas por área.A coleta ocorreu no final do período chuvoso, no mês de março de 2023. Após a coleta, as amostras foram transportadas para o laboratório em condições de temperatura inferior a 4 ºC, utilizando caixa térmica com gelo.No laboratório as amostras foram destorroadas e passadas por peneira de 2,00 mm de diâmetro de malha e acondicionadas em geladeira a 4 ºC por uma semana, até o início das análises. A determinação da umidade do solo na ocasião da coleta foi realizada pelo método gravimétrico(Ug) (Tabela 1). O método da fumigação-extração foi utilizado para quantificar o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), descrito em DE-POLLI; GUERRA (1999). O quociente microbiano (qMic) foi calculadoe obtido segundo Anderson et al. (1993).O carbono orgânico lábil do solo foi quantificado via oxidação com solução de $KMnO_4$ 0,02 mol L^{-1} (POXC) (CULMAN et al., 2012), e posteriormente, calculada a relação entre POXC e COT, expressa em porcentagem

(PorcPOXC). Para avaliação da fertilidade do solo, outra parte das amostras, foi seca ao ar, destorroada e passada por peneira de 2 mm. Foram realizadas as seguintes análises químicas: a) pH em água); b) Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} c) P, K^+e Na^+; d) H+Al, e e) carbono orgânico total pela oxidação via úmida, segundo Teixeira et al. (2017). A partir dos dados obtidos foram calculados o Valor S (soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio) e o Valor T. O estudo foi analisado estatisticamente em esquema unifatorial em delineamento inteiramente casualizados. Os dados CBM, qMic, POXC e PorcPOXC foram analisados quanto a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de SHAPIRO-WILK;BARTLETT, respectivamente. As variáveis que não apresentarem distribuição normal ou homogeneidade foram transformadas de acordo com o teste de Box-Cox e foram novamente testadas. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste de F (ANOVA) quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos (variáveis transformadas ou não) e suas médias comparadas pelo teste de Tukey. Algumas variáveis não atenderam os pressupostos da análise de variância mesmo após transformação, nesses casos, foram analisadas pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis mais diferença mínima significativa de Fisher (LSD) com correção de Bonferroni. Adicionalmente foi realizada a análise de componentes principais (APC) baseada na matriz de correlação de Pearson, a partir dos dados de CBM, qMic, POXC, PorcPOXC, Ugc, COT e frações granulométricas. Todos os testes estatísticos foram realizados à 5% de significância pelo Software R (R CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observada diferença para os teores de C-BMS e POXC nos diferentes terços da paisagem, sendo os maiores teores verificados no terço médio da paisagem(Tabela 1). Esses resultados podem estar associadosà posição da paisagem em relação ao lençol freático, fornecendo condições de umidade adequadas para uma maior atividade dos organismos. ESPINDOLA et al. (2001) correlacionou a elevação do C-BMS à elevação da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, inferindo que essas condições seriam favoráveis ao aumento da BMS.

Tabela 1: Biomassa microbiana e carbono lábil do solo numatopossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da UFRRJ.

Ponto	Ug	C-BMS [1]	qMic[2]	POXC[1]	PorPOXC[1]
	%	----- mg kg^{-1} -----	-------- % --------	----- mg kg^{-1} -----	-------- % --------
Superior	9,28	199,68 ab	0,69 a	674,84 b	2,30 b
Médio	14,35	288,42 a	1,08 a	997,45 a	3,65 a
Inferior	4,55	136,36 b	0,71 a	644,43 b	3,50 a
CV%		45,40	47,70	17,40	18,60

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem as áreas avaliadas. [1]ANOVA + Teste de Tukey sem transformações de dados a 5% de probabilidade; e [2]ANOVA + Teste de Tukey com transformações de dados a 5% de probabilidade. [3]Teste de Kruskal-Wallis + diferença mínima significativa de Fisher (LSD) com correção de Bonferroni.Ugc: Umidade gravimétrica do solo na ocasião da coleta; C-BMS: Carbono da biomassa microbiana do solo; qMic: Quociente microbiano; POXC: Carbono lábil oxidável por permanganato de potássio; PorPOXC: Porcentagem de POXC no carbono orgânico total.

Os valores de qMic não diferiram entre si. Entretanto, os valores do atributo no terço médio (sob influência das espécies da família *Poaceae*) foram 36 e 34% mais elevados em comparação as áreas do terço superior e terço inferior, respectivamente. Os resultados encontrados podem estar associados à maior quantidade de carbono aportado no solo em profundidade por essas espécies. O sistema radicular abundante das gramíneas possui elevada capacidade em liberar exsudatos radiculares no solo, contribuindo para a manutenção dos terrores de matéria orgânica (SILVA JÚNIOR et al., 2009). As maiores porcentagens de POXC (PorcPOXC) foram quantificadas nas áreas do terço médio da encosta, indicando a importância dessa fração solúvel de carbono no conjunto total de carbono orgânico do solo.

Verificou-se através da análise de componentes principais, que esta apresentou variância acumulada para as componentes principais (PC) 1 e 2 de 68.3%. Através da análise da Figura 1, foi possível observar a separação das áreas, sendo formados três grupos distintos, terço médio (1°; quadrante superior direito); terço inferior (2°, quadrante superior esquerdo) e terço superior (3°; quadrante inferior esquerdo).

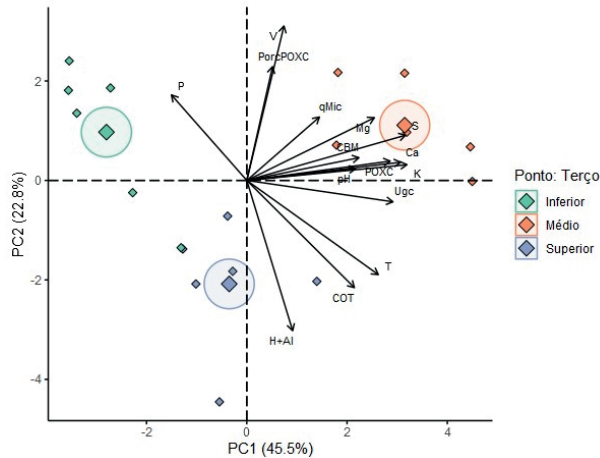



Figura 1: Análise de componentes principais integrando as variáveis numatopossequência sob diferentes coberturas vegetais, no Jardim Botânico da UFRRJ.C-BMS: Carbono da biomassa microbiana do solo; qMic: Quociente microbiano; POXC: Carbono lábil oxidável por permanganato de potássio; PorPOXC: Porcentagem de POXC no carbono orgânico total; Ug: Umidade gravimétrica; COT: Carbono orgânico total; pH: Acidez ativa; Ca^{2+}: Cálcio trocável; Mg^{2+}: Magnésio trocável; H+Al: Acidez potencial; K^{+}: Potássio trocável; P:Fósforo disponível; S: Soma de bases; T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; e V: Saturação de bases.

As variáveis que mais contribuíram (valores de correlação $–0,70 \geq r \geq 0,70$) para a formação do PC1 (45,5%; eixo primário) foram valor S (0,92), K^{+} (0,92), Ca^{2+} (0,90), Ug (0,85), POXC (0,84), valor T (0,77), Mg^{2+} (0,74) e C-BMS (0,70). Essas variáveis estão mais associadas ao terço médio da encosta (Figura 1), reforçando a diferença dessa área em comparação as demais com base nos resultados da biomassa microbiana e carbono lábil (Tabela 1). O valor V (0,91), PorcPOXC (0,67) e H+Al (–0,88) foram as variáveis discriminantes que auxiliaram na construção do PC2 (22,8%, eixo secundário).

CONCLUSÕES

Os teores de carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico lábil foram maioresno terço médio da paisagem, sob influência das espécies da família*Poaceae*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CAPES, CNPq, FAPERJ, PPGA-CS/UFRRJ e Jardim Botânico/UFRRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. **The metabolicquotientof CO_2 (qCO_2) as a specificactivityparamentertoassesstheeffectsofenvironmentalcondition, such as pH, onthe microbial offorestsoil**. SoilBiologyandBiochemistry, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

CULMAN SW, FREEMAN M, & SNAPP SS. (2012) **Procedure for thedeterminationofpermanganateoxidizablecarbon**. KelloggBiologicalStation-LongTermEcologicalResearchProtocols, Hickory Corners, MI.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M**. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, p. 10, 1997.

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D. Biomassa microbiana. 2016.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALAMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. **Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de Nitrato e amônio de solo coberto com Paspalumnotatum em um Agroecossistema**. Revista Floresta e Ambiente, v. 8, n.1, p.104 - 113, 2001.

MUÑOZ, Angelica Maria Mosquera; DE FREITAS, **Simone Rodrigues. Importância dos Serviços Ecossistêmicos nas Cidades: Revisão das Publicações de 2003 a 2015**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 6, n. 2, p. 89-104, 2017.

PINHEIRO JUNIOR, C R.; PEREIRA, MG.; GOMES, G H J.; CABREIRA, V W.; CEDDIA, B M.; FREIRE, O M. **Solos do Jardim Botânico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**. In: Pesquisas no Jardim Botânico da UFRRJ. Rio de Janeiro: Edur, 2022. 274p

PINTO, L. A. S. R.; LIMA, S. S.; PEREIRA, M. G.; ZIVIANI, M. M.; ASSUNÇÃO, S. A.; ROSSI, C. Q.; SILVA, C. F.; SANTOS, O. A. Q.; SCHULTZ N. **Biomassa microbiana como indicador de qualidade do solo sob diferentes coberturas vegetais**. In: Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável 2.2 ed.: Atena Editora, v.2, p. 184-195, 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SCHULTZ N.; PINTO, L. A. S. R.; LIMA, S. S.; ZIVIANI, M. M.; ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G. **Agregação do solo e atributos químicos em áreas com diferentes coberturas vegetais** In: Características do Solo e sua Interação com as Plantas 2.2 ed.: Atena Editora, v.2, p. 1-12, 2019.

SILVA JÚNIOR ML et al. 2009. Carboncontent in AmazonianOxisolsafter Forest conversiontopasture. Revista Brasileira de Ciência do Solo 33: 1603-1611.

SILVA, M. S. **Uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo sob cultivo de culturas agroenergéticas em Pedro Afonso, Tocantins**. 2014. 80f. Tese (Mestrado em Agroenergia). Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2014.

WEIL, R. R.; MAGDOFF, F. **Significanceofsoilorganicmattertosoilqualityandhealth. Magdoff F**. &Weil RR (Eds.), SoilOrganicMatter in SustainableAgriculture, CRC Press, Boca Raton, FL. 2004:1-43.

CAPÍTULO 49

SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CAFÉ E SEU EFEITO NA MACROFAUNA EDÁFICA

Data de aceite: 01/04/2024

Monalisa Fagundes Oliveira
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UESB)

Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia
Professora do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (UESB)

Paulo Henrique Marques Monroe
Pós-doutorando da Pós-Graduação em Ciências Florestais (UESB)

Marcio Renato Nunes
Professor at Soil, Water and Ecosystems Sciences Department (UF)

RESUMO: Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto de diferentes sistemas agroflorestais (SAFs) de café sobre a macrofauna edáfica. Foram investigados três SAFs de café (SAF-MB: SAF de café com mogno e banana; SAF-SPM: SAF café com sibipiruna, paricá e mogno; e SAF-BIO: SAF de café com cedro, banana, mangueira, castanha-do-pará, grevílea, fruta-pão, cinamomo e mogno), um monocultivo de café com presença de *Brachiaria* spp. e uma floresta nativa. A avaliação da macrofauna do solo foi realizada pelo método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF). Um total de 29 grupos taxonômicos foram identificados, sendo os grupos Oligochaeta, Formicidae e Isoptera os mais predominantes. Não foi verificada variação na densidade total. Foram observadas diferenças apenas na abundância dos grupos Araneae e Isopoda, que foi superior no SAF-SPM. SAF-SPM e SAF-BIO foram os sistemas com valores mais expressivos de riqueza global e média. Os resultados deste estudo evidenciam que a diversificação dos sistemas agroflorestais de café tem o potencial de impulsionar a abundância e riqueza da macrofauna edáfica, com o SAF-SPM emergindo como uma opção particularmente eficiente. Adicionalmente, o monocultivo com presença de gramíneas tropicais perenes também pode favorecer a macrofauna, promovendo uma distribuição mais equilibrada das abundâncias dos grupos.

PALAVRAS-CHAVE: cafeicultura, fauna do solo, sistemas biodiversos

COFFEE AGROFORESTRY SYSTEMS AND THEIR EFFECT ON SOIL MACROFAUNA

ABSTRACT: This study aimed to assess the impact of different agroforestry systems (AFS) of coffee on soil macrofauna. Three coffee AFS were investigated (AFS-MB – Coffee AFS with mahogany and banana, AFS-SPM – Coffee AFS with ironwood, parica, and mahogany, and AFS-BIO – Coffee AFS with cedar, banana, mango, Brazil nut, silk oak, breadfruit, cinnamon, and mahogany), a coffee monoculture with the presence of *Brachiaria* spp., and a native forest. Soil macrofauna was evaluated using the Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) method. A total of 29 taxonomic groups were identified, with the groups Oligochaeta, Formicidae and Isoptera being the most prevalent. There was no variation in total density. Differences were observed only in the abundance of the Araneae and Isopoda groups, which was higher in AFS-SPM. AFS-SPM and AFS-BIO were the systems with the most expressive values of global and average wealth. The results of this study show that the diversification of coffee agroforestry systems has the potential to boost the abundance and richness of soil macrofauna, with AFS-SPM emerging as a particularly efficient option. In addition, monoculture with presence of perennial tropical grasses can also favor macrofauna, promoting a more balanced distribution of the abundances of the groups.
KEYWORDS: biodiverse systems, coffee cultivation, soil macrofauna,

INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas mais consumidas e uma das *commodities* agrícolas mais exportadas no mundo, tendo um impacto significativo na economia global, sobretudo em países tropicais. O Brasil é o maior produtor e o terceiro maior consumidor da bebida (CONAB, 2023; ICO, 2022). No país, as espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre são as mais cultivadas.

O sistema de produção de café predominante no Brasil é o monocultivo a pleno sol, o qual é favorecido pelas características edafoclimáticas do país. Como alternativa ao monocultivo, também é adotado o cultivo de cafezais arborizados (sistema agroflorestal), que promove diversas vantagens, como a melhoria da qualidade do fruto e da bebida, a redução do índice de bienalidade (RICCI;NEVES, 2004), a melhoria do microclima e o aumento do acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo (KHATOUNIAN; BERNARDES, 2013). Como resultado desse processo, esses sistemas favorecem a ciclagem de nutrientes, o estoque de carbono, a melhoria da fertilidade do solo (BARRIOS et al., 2012; COLTRI et al., 2015; DOLLINGER;JOSÉ et al., 2018) e a diversidade da fauna do solo (BARRIOS et al., 2012; MARSDEN et al., 2020).

Os organismos que compõem a macrofauna edáfica, em particular, são fundamentais para o funcionamento do ecossistema, desempenhando função de fragmentadores, transformadores de serapilheira e predadores. Por essa razão, esses organismos mostram-se sensíveis aos efeitos adversos resultantes do uso e manejo do solo (SOUZA et al., 2015).

Apesar de já existirem diversas pesquisas visando avaliar a comunidade da macrofauna do solo em monocultivos, sistemas agroflorestais e florestas nativas do Brasil, ainda é restrito o número de estudos que avaliam sistemas heterogêneos de cultivo de café, com destaque para aqueles que avaliam monocultivo de café e floresta nativa como sistemas de referência. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar a influência de diferentes SAFs de café sobre a comunidade da macrofauna edáfica.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Ibicoara, Bahia, Brasil. A região tem relevo plano a levemente ondulado, altitude média de 1028 m e clima tropical de altitude (Cwb), segundo classificação de Köppen. Os valores médios de temperatura e precipitação são de 20°C e de 977 mm, respectivamente. O solo das áreas de estudo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (IBGE, 2021).

Foram avaliados três sistemas agroflorestais (SAFs) de café (*Coffea arabica* L.*):* (1) café consorciado com mogno e banana (SAF-MB); (2) café com sibipiruna, paricá e mogno (SAF-SPM), e (3) café com cedro, banana, mangueira, castanha-do-pará, grevílea, fruta-pão, cinamomo e mogno (SAF-BIO). Adicionalmente, foi avaliado um monocultivo de café, que tinha a presença de *Brachiaria* spp*.* nas entrelinhas de plantio.

A avaliação da macrofauna do solo foi realizada pelo método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) descrito por Anderson e Ingram (1993) com adaptação na profundidade. Em cada sistema estudado foram coletados quatro monólitos de solo de 25 × 25 cm a 10 cm de profundidade. A triagem foi realizada manualmente, coletando-se todos os invertebrados vistos a olho nu, que foram colocados em solução de álcool 70%. Em laboratório, com o auxílio de uma lupa binocular, foi realizada a identificação e contagem dos indivíduos de cada amostra. A identificação foi feita ao nível de grandes grupos taxonômicos, seguindo as descrições de Dindal (1990). Os dados obtidos foram utilizados para calcular a densidade (número de indivíduos por m^2), riqueza (número de grupos identificados) e índices de diversidade de Shannon (H') e de equitabilidade de Pielou (J). No entanto, neste trabalho foram apresentadas apenas as densidades dos cinco grupos predominantes.

Os dados foram verificados quanto a homogeneidade e normalidade e, posteriormente, suas médias foram comparadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados 29 grupos taxonômicos nos cinco sistemas avaliados. Não foi verificada variação na densidade total. Dentre os grupos predominantes, foram observadas diferenças apenas na abundância dos grupos Araneae e Isopoda (Figura 1). Esses grupos foram superiores no SAF-SPM em relação ao SAF-MB e FN (para o grupo Araneae) e em

relação ao SAF-BIO (para o grupo Isopoda). O destaque do SAF-SPM quanto a ocorrência desses grupos deve ter relação com sua maior diversidade e ampla distribuição de espécies vegetais quando comparado aos demais sistemas dessa categoria.

Os grupos predominantes em todos os sistemas avaliados foram Oligochaeta, Formicidae e Isoptera. O grupo das minhocas é um dos mais importantes grupos da macrofauna, em virtude de serem considerados engenheiros do ecossistema, tendo influência nas propriedades físicas do solo, e prestar diversos serviços ambientais, como a ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e melhoria de atributos como agregação, porosidade e infiltração de água (LAVELLE et al., 2006; BARETTA et al., 2011; BROWN et al. 2018).

As formigas são um dos grupos mais importantes em sistemas tropicais, por sua alta diversidade e abundância (SCORIZA;CORREIA, 2016). Os Isoptera, reconhecidos por sua notável habilidade em concentrar nutrientes em seus ninhos (SILVA;MENDONÇA, 2007), desempenham um papel crucial na ciclagem de diversos elementos, sendo os ciclos de C e N os mais acentuados (LEE;WOOD, 1971). Determinadas espécies desse grupo têm o hábito de coletar partículas de diferentes profundidades do solo, depositando-as em montículos enriquecidos com C orgânico e nutrientes em comparação com os solos circundantes (BRUSSAARD et al., 2007). Assim, a presença desses grupos em todos os sistemas de cultivo avaliados é indicativo da influência positiva desses sistemas na biologia do solo.

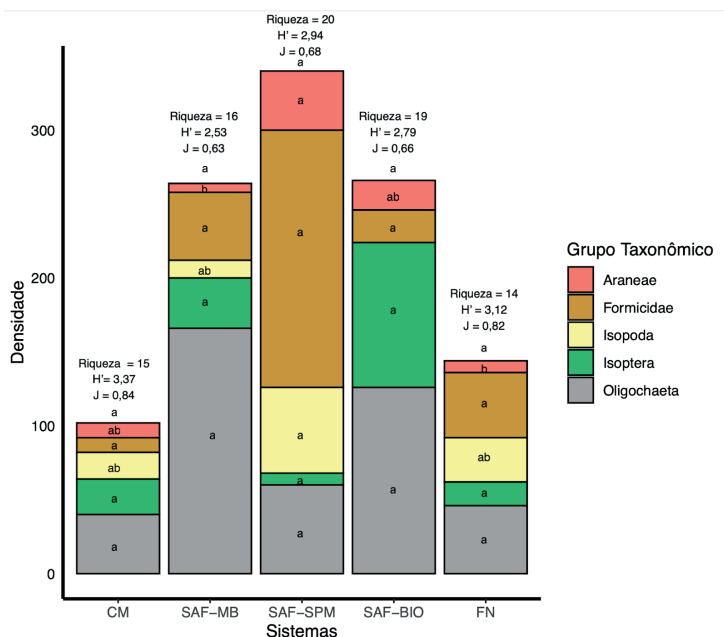



Figura 2: Grupos predominantes da macrofauna edáfica, densidade (número de indivíduos m^{-2}), riqueza total e índices de diversidade da macrofauna edáfica em sistema agroflorestal de café e floresta nativa. H' – Índice de Shannon; J – índice de equitabilidade de Pielou. Letras iguais, que comparam os sistemas em relação a cada grupo taxonômico, não diferem entre si pelo teste Kruskal Wallis a 5% de significância.

SAF-SPM e SAF-BIO foram os sistemas com valores mais expressivos de riqueza global e média de grupos da macrofauna. Apesar disso, não foi possível verificar grandes variações na diversidade de Shannon (H') dos sistemas agroflorestais em relação ao monocultivo e à floresta nativa. Valores mais baixos de H' refletem uma maior prevalência de certos grupos em detrimento de outros, como discutido por BEGON et al. (1996). Esse padrão se fez presente nos grupos Formicidae, Isoptera e Oligochaeta.

Por outro lado, o índice de equitabilidade de Pielou apresentou valores mais expressivos no monocultivo e na floresta nativa, indicando uma distribuição mais equilibrada das abundâncias dos táxons nesses sistemas. Esse resultado deve ter relação com o fato do monocultivo apresentar a presença de *Brachiaria* spp. nas entrelinhas de plantio, que incrementa a cobertura do solo, as entradas de matéria orgânica do solo e proporciona abrigo para organismos com diferentes estratégias de sobrevivência (KITAMURA et al., 2020).

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo evidenciam que a diversificação dos sistemas agroflorestais de café tem o potencial de impulsionar a abundância e a riqueza da macrofauna edáfica, com o SAF-SPM emergindo como uma opção particularmente eficiente. Adicionalmente, o monocultivo com a presença de gramíneas tropicais perenes também pode favorecer a macrofauna, promovendo uma distribuição mais equilibrada das abundâncias dos grupos. Essas abordagens de cultivo revelam-se cruciais para promover a conservação e sustentabilidade do solo na produção de café.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J.M. AND INGRAM, J.S.I. **Tropical Soil Biology and Fertility:** A Handbook of Methods. CAB International, Wallingford, 1989.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo,** 119–170, 2011.

BEGON, M.; HARPER, J. L.; ETOWNSEND, C. R., 1996**. Ecology**: individuals, populations and communities. 3rd ed. New Jersey: Blackwell. 432 p., 1996.

BARRIOS, E. et al. Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. **Soil Ecology and Ecosystem Services Oxford**, 2012.

BRUSSAARD, L. et al. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. **Pedobiologia**, Jena, v. 50, n. 6, p. 447-462, 2007.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira:** Café - Safra 2023. 2023. Primeiro levantamento, Brasília. p. 1-41, 2023.

COLTRI, P. P. et al. Empirical models to predict LAI and aboveground biomass of *Coffea arabica* under full sun and shaded plantation: a case study of South of Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, Volume 89, p. 621–636, 2015.

DINDAL D. **Soil biology guide**. New York: Ed. John Wiley and Sons, 1990.

DOLLINGER, J., et al. Agroforestry for soil health. **Agroforestry Systems,** 92, 213–219, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). **Pedologia**, solos.

ICO - Organização Internacional do Café – **Relatório sobre o Mercado de Café**, 2022.

KITAMURA, A. E. et al. Soil macrofauna as bioindicator of the recovery of degraded Cerrado soil. **Ciência Rural,** 50(8), 2020.

KHATOUNIAN, C. A. et al. Cafeicultura a pleno sol supera o vantajoso sistema agroflorestal. **Visão agrícola,** Volume 12, p. 85-87, 2013.

LEE, K.E.; WOOD, T.G. Termites and soils. **London and New York: Academic**, 251p, 1971.

RICCI, M. S. F., NEVES, M. C. P. Cultivo do Café Orgânico. S**istemas de Produção 02. 1ª Edição online.** Embrapa Agrobiologia, 95p, 2004.

SOUZA, M. H. et al. Macrofauna do solo. **Revista Enciclopédia Biosfera,** 11(22), 115, 2015.

LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **Eur. J. Soil Biol.**, 42:S3-S15, 2006.

MARSDEN, C., et al. How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. **Plant Soil,** 453, 29–44, 2020.

SCORIZA, R. N. & CORREIA, M. E. F. Fauna do Solo como Indicadora em Fragmentos Florestais na Encosta de Morrotes. **Floresta e Ambiente,** v. 23, n. 4, 2016.

SILVA, I. R. et al. Fertilidade do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 275-374,2007.

CAPÍTULO 50

CARACTERIZAÇÃO FISÍCO-QUÍMICA E PRODUTIVIDADE DO MARACUJÁ AMARELO CULTIVADO NAS CONDIÇÕES AMAZÔNICAS EM FUNÇÃO DO MANEJO DE PODA E ADUBAÇÃO

Data de aceite: 01/04/2024

Natiele Ramos de Matos
Estudante de graduação de Agronomia do IFMT

José Emanuel dos Santos da Silva
Estudante do curso técnico em Agropecuária do IFMT

Emilly de Oliveira Almeida
Estudante de graduação em Biologia do IFMT

Bárbara Olinda Nardis
Pesquisador da Empresa PlantBio

Fabrício Ribeiro Andrade
Professor do Departamento de Agronomia do IFMT

RESUMO: O estado de Mato Grosso possui cerca de 104.000 famílias em pequenas propriedades rurais. Além disso, mais de 75% das frutas consumidas no estado vem de outros estados. Esse déficit de frutas no estado pode estar relacionado ao baixo nível de conhecimento dos produtores acerca de práticas de manejo e adubação. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito das podas de condução e formas de adubação em plantas de maracujá amarelo na região Noroeste de Mato Grosso. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2 x 3, com quatro repetições. Os fatores foram constituídos pela combinação de dois manejos de poda (com e sem poda de condução) e três adubações (sem adubação; adubação química; adubação via fertirrigação). Cada parcela experimental foi composta por oito plantas. Foram avaliados parâmetros físico-químicos e produtividade das plantas. Não foi verificado o efeito da poda nas variáveis analisadas. Houve efeito significativo das formas de adubação, onde a adubação convencional e fertirrigação foram superiores. Os sistemas de poda não promoveram efeitos nos parâmetros de produtividade avaliados em maracujá amarelo nas condições do bioma Amazonia. A adubação convencional e fertirrigação promovem melhores respostas produtivas em plantas de maracujá amarelo.

PALAVRAS-CHAVE: fertirrigação, nutrição de plantas, *Passiflora edulis* Sims,

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION AND PRODUCTIVITY OF YELLOW PASSION FRUIT CULTIVATED IN AMAZONIAN CONDITIONS USING PRUNING AND FERTILIZATION

ABSTRACT: State of Mato Grosso has around 104,000 families on small rural properties. Furthermore, more than 75% of the fruits consumed in the state come from other states. This fruit deficit in the state may be related to producers' low level of knowledge about management and fertilization practices. The objective of the present study was to evaluate the effect of pruning and forms of fertilization on yellow passion fruit plants in the Northwest region of Mato Grosso. The experimental design was in randomized blocks, in a 2 x 3 factorial arrangement, with four replications. The factors were constituted by the combination of two pruning practices (with and without conductive pruning) and three fertilizations (without fertilization; chemical fertilization; fertilization via fertigation). Each experimental plot consisted of eight plants. Physicochemical parameters and plant productivity were evaluated. The effect of pruning on the analyzed variables was not verified. There was a significant effect of the forms of fertilization, where conventional fertilization and fertigation were superior. The pruning systems did not promote effects on the productivity parameters evaluated in yellow passion fruit under the conditions of the Amazon biome. Conventional fertilization and fertigation promote better productive responses in yellow passion fruit plants.

KEYWORDS: fertigation, plant nutrition, *Passiflora edulis* Sims,

INTRODUÇÃO

No Brasil, o maracujá é uma das frutas mais apreciadas e consumidas pela população, o que gera uma grande demanda pelo fruto in natura e seus derivados como polpas, sorvetes, vinhos, licores ou doces (GARCIA et al., 2019). De acordo com o IBGE (2023), a produtividade média de maracujá no Brasil fica em torno de 15 $Mg.ha^{-1}$, sendo cultivado em aproximadamente 44,8 mil ha. O estado da Bahia é o maior produtor de maracujá, sendo responsável por um terço da produção nacional, cerca de 207.488 toneladas, entretanto o Distrito Federal é quem apresenta a maior média nacional de produtividade com cerca de 27,6 $Mg.ha^{-1}$. O estado de Mato Grosso, possui elevado potencial produtivo por conta das condições edafoclimáticas, sendo a média de produtividade em torno de 15,2 $Mg.ha^{-1}$, no entanto é uma cultura pouco cultivada no estado visto que apenas 275 hectares são ocupados com pomares de maracujá (IBGE, 2023).

Existem diferentes técnicas de poda para o maracujá, como a poda de formação, a poda de limpeza e a poda de renovação (GONTIJO, 2017; HAFLE et al., 2014). O manejo de poda, portanto, é uma ferramenta valiosa que, quando realizada corretamente, pode melhorar significativamente a produção e a qualidade dos frutos de maracujá. Foi observado que a forma da condução dos ramos secundários influência no número de frutos por planta e na produtividade do maracujazeiro amarelo, mas não alteram as características físicas dos frutos (CAVICHIOLI et al., 2019). Além da poda, outra importante prática a ser adotada para obtenção de altos rendimentos no maracujazeiro diz respeito ao correto estado nutricional

das plantas. Uma compreensão completa das necessidades nutricionais do maracujazeiro é necessária para maximizar seu potencial produtivo e garantir a qualidade de seus frutos.

As distribuições dos fertilizantes para suprir as necessidades do maracujazeiro podem ser realizadas de maneira convencional aplicando o fertilizante sólido na região próxima ao berço de transplantio da muda ou através da água de irrigação. Nesse sentido, existe a necessidade de estudos que explorem as práticas de manejo (poda) associada às formas de adubação de plantas de maracujá, em busca daquelas que promovam os melhores ganhos produtivos em maracujazeiros nas condições edafoclimáticas da região Noroeste de Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado de agosto de 2022 a julho de 2023, no setor de fruticultura da área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT), campus Juína (11º26'55'' S; 58º43'24'' W; 320 m de altitude), em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura franco argilosa. O clima da região é caracterizado por índices pluviométricos de precipitação média anual de 1.900 mm e temperatura média anual de 24 °C. As análises químicas e físicas da camada de 0-20 cm, apresentaram os seguintes valores: pH em $CaCl_2$ = 6,1; P = 5,2 mg dm^{-3}; K = 120 mg dm^{-3}; Al^{3+} = 0,00 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca^{2+} = 7,61 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{2+} = 0,80 $cmol_c$ dm^{-3}; MO = 32,30 g kg^{-1}; areia = 472 g kg^{-1}; silte = 193 g kg^{-1}; argila = 335 g kg^{-1}.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2 x 3, com quatro repetições. Os fatores foram constituídos pela combinação de dois manejos de poda (com e sem poda dos ramos laterais) e duas formas adubações (adubação convencional; adubação via fertirrigação) + controle (ausência da adubação de produção). Cada parcela experimental foi composta por oito plantas.

A cultivar utilizada foi a FB 300, sendo o transplantio de mudas realizado em agosto de 2022. O espaçamento adotado foi de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas, totalizando 1.666 plantas por hectare. O sistema de condução das plantas foi o de espaldeira vertical, com mourões de 2,5 m, espaçados de 6,0 m e com um fio de arame liso número 12 a partir de 2,0 m do solo. No que antecedeu ao transplantio as covas (30 x 30 x 40 cm) receberam 360 gramas de calcário dolomítico com PRNT de 95% e a adubação fosfatada. As plantas receberam irrigação durante o período de seca, através dos microjets com vazão de 40 litros/h, sendo irrigadas duas vezes na semana.

No sistema de cultivo sem poda dos ramos laterais, as plantas foram conduzidas até o arame, onde foi realizada a poda do broto terminal e conduzidas no arame. Enquanto no sistema de cultivo adotando as podas de condução as plantas foram conduzidas em haste única até o fio de arame, e quando atingirem a altura de 20 cm acima do arame será efetuada a poda apical da haste principal e os ramos secundários atingirão 1,0 m de crescimento,

no sentido horizontal da espaldeira, efetuada a poda apical desses ramos também, para que ocorra a formação da cortina e por fim os ramos da cortina quando atingirem 20 cm do solo foram novamente podados. A adubação convencional e fertirrigação estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidade de nutriente aplicado em cada tratamento.

Tratamentos	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S
	kg.ha^{-1}					
Controle	32	95	83	0	0	40
Convencional	400	300	310	30	8	100
Fertirrigação	280	210	215	30	8	70

O controle de pragas e doenças foi realizado de acordo com o aparecimento das pragas e sintomas de doenças, utilizando produtos indicados para o seu controle e recomendados para a cultura do maracujá. As colheitas foram realizadas uma vez por semana, recolhendo somente os frutos que se encontravam no solo. As características avaliadas foram o número de frutos por planta, que é o número de frutos coletados na parcela ao longo da condução do experimento divido pelo número de plantas na parcela, produtividade em Mg.ha^{-1}, evidenciada pela soma do total de colheitas realizadas durante o ciclo de produção. Foram separados dez frutos por parcela e determinou a massa média dos frutos, comprimento médio dos frutos, diâmetro médio dos frutos, relação comprimento/diâmetro médio dos frutos, espessura média da casca, rendimento do fruto, pH, sólidos solúveis totais (Brixº). Os parâmetros foram submetidos a análise de variância ($p \leq 0,05$), e aqueles que apresentarem significância foram comparados pelo teste de Scott-Knott, utilizando o programa estatístico R 3.2.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos de poda não influenciaram nos parâmetros avaliados. As formas de adubação influenciaram nos parâmetros avaliados, a exceto relação comprimento/diâmetro do fruto, espessura da casca e número de frutos. Não houve interação significativa entre os poda e diferentes formas de adubação (Tabela 2). Em experimento realizado por Hafle et al. (2009) concluiu-se que as podas de formação da cortina com menor número de ramos terciários acabaram por reduzir a produtividade estimada, no entanto os frutos com maior peso e diâmetro foram justamente dessas plantas, o autor salienta que a qualidade interna dos frutos não é afetada pelas podas de formação.

Tabela 2: Análise de variância para peso médio dos frutos (PMF), comprimento médio dos frutos (CMF), relação CMF/DMF, espessura da casca (EC), rendimento do fruto (RF), pH, sólidos solúveis totais (SS), número de frutos por planta (NF) e produtividade de frutos (PF) de maracujazeiro.

F.V.	**PMF (g)**	**CMF (mm)**	**DMF (mm)**	**CMF/DMF**	**EC (mm)**
Bloco	$0{,}34^{ns}$	$0{,}03^{ns}$	$0{,}91^{ns}$	$1{,}09^{ns}$	$1{,}18^{ns}$
Poda (P)	$1{,}81^{ns}$	$1{,}13^{ns}$	$1{,}03^{ns}$	$0{,}15^{ns}$	$0{,}55^{ns}$
Adubação (AD)	7,78**	5,05*	5,00*	$0{,}90^{ns}$	$0{,}95^{ns}$
P x AD	$0{,}76^{ns}$	$0{,}76^{ns}$	$3{,}60^{ns}$	$1{,}79^{ns}$	$0{,}15^{ns}$
CV (%)	11,92	4,48	4,32	4,55	16,08
Poda	**PMF (g)**	**CMR (mm)**	**DMF (mm)**	**CMF/DMF**	**EC (mm)**
Ausente	242,44	95,48	84,68	1,128	7,199
Presente	258,87	97,36	86,21	1,136	7,561
Média	250,65	96,42	85,44	1,132	7,380
F.V.	**RF (%)**	**pH**	**SS (ºBrix)**	**NF (uni.)**	**PF (Mg. ha^{-1})**
Bloco	$0{,}58^{ns}$	$0{,}03^{ns}$	$0{,}97^{ns}$	$1{,}03^{ns}$	$1{,}26^{ns}$
Poda (P)	$0{,}03^{ns}$	$0{,}001^{ns}$	$0{,}25^{ns}$	$0{,}37^{ns}$	$0{,}34^{ns}$
Adubação (AD)	4,58*	5,31*	4,90*	$2{,}67^{ns}$	3,82*
P x AD	$2{,}19^{ns}$	$0{,}29^{ns}$	$0{,}92^{ns}$	$0{,}72^{ns}$	$0{,}44^{ns}$
CV (%)	7,51	2,54	7,45	15,46	14,05
Poda	**RF (%)**	**AP (cm)**	**SS (ºBrix)**	**NF (uni.)**	**PF (Mg. ha^{-1})**
Ausente	41,90	2,88	12,20	67,43	18,96
Presente	42,13	2,88	12,39	70,08	19,60
Média	42,01	2,88	12,30	68,75	19,28

^{ns}Não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F; ** e * Significante a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste F.

A ausência de adubação promoveu redução no comprimento, diâmetro, massa, rendimento, pH e produtividade dos frutos do maracujazeiro (Figura 1), enquanto o teor de sólidos solúveis foi maior nos frutos que não receberam adubação de produção (Figura 1F).

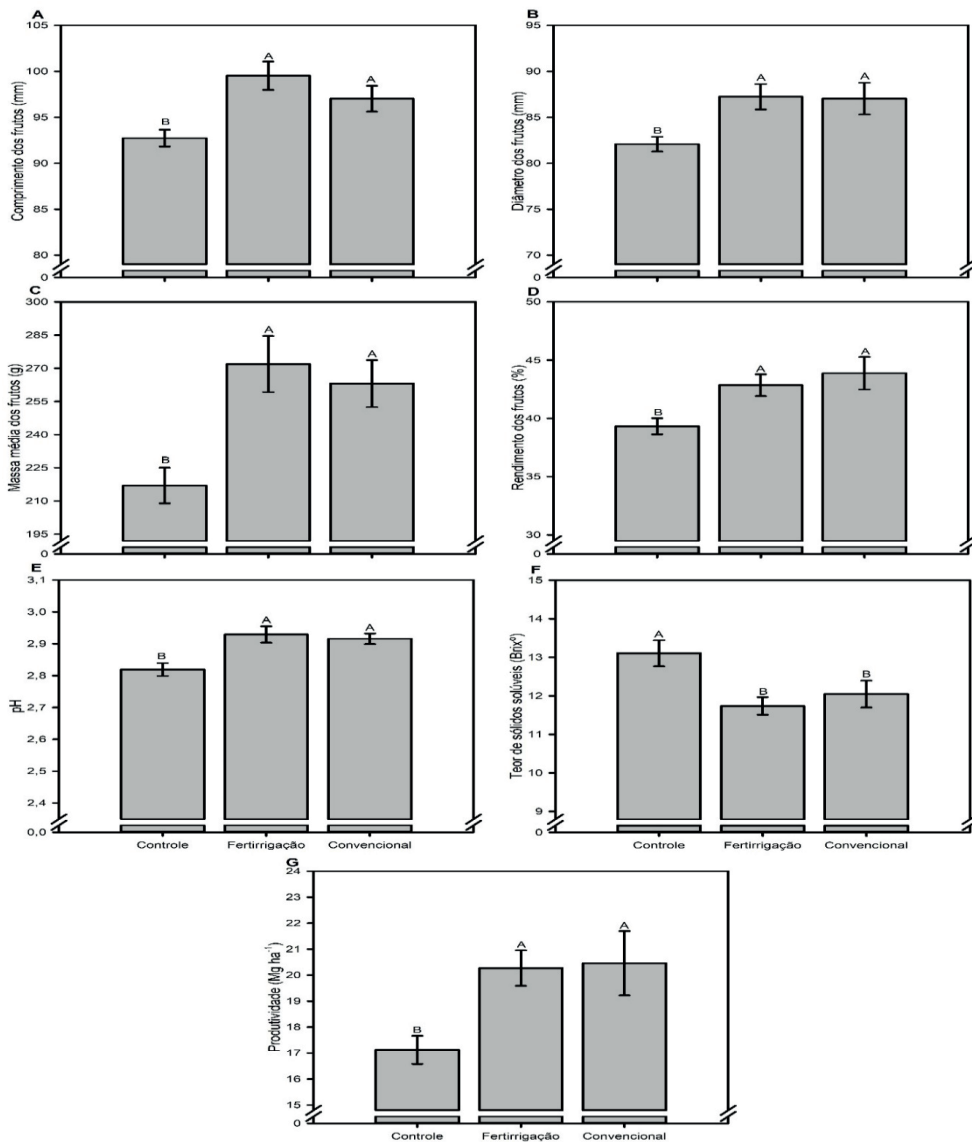



Figura 1: Caracterização físico-química e produtividade de frutos de maracujá amarelo em função dos tratamentos de adubação.

A produtividade do maracujazeiro foi aproximadamente 20% superior com a adoção da adubação, independentemente da forma de adubação (Figura 1G). A maior produtividade de frutos nas plantas fertirrigadas, mesmo havendo uma redução de 30% na dose dos fertilizantes está associada a maiores solubilidades desses fertilizantes, bem como a aplicação parcelada dos nutrientes.

CONCLUSÕES

Os sistemas de poda não promoveram efeitos nos parâmetros de produtividade avaliados em maracujá amarelo nas condições do bioma Amazonia. A adubação convencional e fertirrigação promovem melhores respostas produtivas em plantas de maracujá amarelo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro e segundo autor, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo apoio financeiro (Nº Processo: FAPEMAT.0000091/2022) e concessão de bolsa de estudo a terceira autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVICHIOLI, J. C.; MELETTI, L. M. M.; NARITA, N. Aspectos da cultura do maracujazeiro no Brasil. Toda Fruta, Jaboticabal, 11p. 2018. Disponível em:<http://www.todafruta.com.br/wpcontent/uploads/2018/05/MARACUJA.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2023.

GARCIA, M.F. et al. Desenvolvimento de geleia de maracujá com uso de diferentes agentes geleificantes. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 13, n. 1, p. 105-115, 2019.

GOTIJO G. M. Cultivo de Maracujá. Brasília, DF: EMATER 2017. Disponível em: https://emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/cartilha_maracuja.pdf. Acesso em: 20 Jan. 2023.

HAFLE, O. M. et al. Produtividade e qualidade de frutos do maracujazeiro-amarelo submetido à poda de ramos produtivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, p. 763-770, 2009.

HAFLE, O.M. et al. Produtividade e qualidade de frutos do maracujazeiro-amarelo submetido à poda de ramos produtivos. **Revista brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, p. 763-770, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de maracujá, censo 2021. Brasília. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em: 26 ago. 2023.

CAPÍTULO 51

UTILIZAÇÃO DE BIOESTIMULANTE HÚMICO COMO AMENIZADOR DE EFEITOS NEGATIVOS CAUSADOS PELO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE RAIZES DE PLANTAS DE ARROZ ARROZ (*ORYZA SATIVA* L.)

Data de aceite: 01/04/2024

Raphaella Esterque Cantarino
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Ayhessa Cristina Santos de Lima
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Samuel de Abreu Lopes
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

João Augusto Dourado Loiola
Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (UFRRJ)

Tadeu Augusto Van Tol de Castro
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (UFRRJ)

Andrés Calderín García
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de ácido húmico extraído de vermicomposto (AHVC) no desenvolvimento e morfologia radicular de plantas submetidas a estresse hídrico. A espécie utilizada foi o arroz (*Oryza sativa* L.) da variedade BRS Esmeralda. Foram previamente testadas concentrações crescentes (0, 2, 5, 10, 30 e 50 mg de AH. L^{-1}), para obtenção da dose de maior estímulo vegetal, sendo a de 5 mg de AHVC L^{-1}. As plantas foram cultivadas em solução nutritiva. Quinze dias após o transplantio se deu início à aplicação do AHVC (5 mg L^{-1}), após cinco dias de tratamento as plantas foram coletadas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (Controle; AH; PEG-6000; AH+PEG-6000) e vinte repetições. Foram avaliados parâmetros de desenvolvimento radicular. A aplicação de AHVC em plantas sob estresse hídrico foi eficiente para a manutenção do desenvolvimento de plantas cultivadas em PEG-6000. O ácido húmico desencadeou efeito protetor no crescimento vegetal em condições de baixa disponibilidade de água, amenizando as reduções na emissão, comprimento, área, volume e diâmetro das raízes, uma vez que as plantas tratadas com AH+PEG apresentaram valores maiores de em todos os parâmetros relacionados ao sistema radicular do que as plantas submetidas apenas ao PEG-6000. Os resultados demonstram que a aplicação radicular de AHVC atuou na regulação do desenvolvimento de plantas, auxiliando na proteção contra o déficit hídrico.

PALAVRAS-CHAVE: ácido húmico, bioatividade, substância húmica, sustentabilidade, vermicomposto

USE OF HUMIC BIOSTIMULANT TO MITIGATE NEGATIVE EFFECTS CAUSED BY WATER STRESS ON ROOTS OF RICE PLANTS (*ORYZA SATIVA* L.)

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the effects of humic acid extracted from vermicompost (AHVC) on the development and root morphology of plants subjected to water stress. The species used was rice (Oryza sativa L.) of the BRS Esmeralda variety. Increasing concentrations (0, 2, 5, 10, 30 and 50 mg of HA. L-1) were previously tested to obtain the dose of greatest plant stimulus, being 5 mg of HAVC L-1. The plants were grown in nutrient solution. Fifteen days after transplanting, the application of AHVC (5 mg L-1) began, after five days of treatment the plants were collected. The experimental design used was completely randomized, with four treatments (Control; AH; PEG-6000; AH+PEG-6000) and twenty replications. Root development parameters were evaluated. The application of AHVC to plants under water stress was efficient in maintaining the development of plants grown in PEG-6000. Humic acid triggered a protective effect on plant growth in conditions of low water availability, mitigating reductions in root emission, length, area, volume and diameter, since plants treated with AH+PEG showed higher values in all parameters related to the root system than plants subjected only to PEG-6000. The results demonstrate that the root application of AHVC acted to regulate plant development, helping to protect against water deficit.
KEYWORDS: bioactivity, humic acid, humic substance, sustainability, vermicompost

INTRODUÇÃO

As substâncias húmicas (SH) exercem influência sobre os ambientes onde estão presentes e desempenham uma função crucial no metabolismo e no desenvolvimento das plantas. Uma das principais vantagens desses compostos é sua origem em processos naturais. As SH provenientes da vermicompostagem são amplamente adotadas e promissoras, podendo contribuir para o avanço de práticas agrícolas mais sustentáveis (CANELLAS, SANTOS, 2005). As alterações preponderantes nas plantas, devido à influência das substâncias húmicas estão associadas ao sistema radicular, envolvendo modificações na quantidade, extensão, espessura, área e volume das raízes. Diversas pesquisas realizadas por distintos estudiosos evidenciaram a manifestação desses efeitos no desenvolvimento radicular mediante a aplicação de substâncias húmicas (CASTRO et al., 2021).

De maneira geral, os estresses causados por fatores não bióticos exercem uma influência significativamente adversa sobre o rendimento das plantas, especialmente quando ocorrem combinações desses estresses, o que, em muitos casos, pode resultar em consequências fatais para o crescimento das culturas (MITTLER, 2006). Em decorrência da escassez de água, há uma redução na capacidade de abertura dos estômatos,

modificações no potencial hídrico dos órgãos vegetais, na taxa de assimilação de CO_2 e na taxa de transpiração (TAIZ et al., 2017). O arroz, como outras espécies, responde ao déficit hídrico por meio da diminuição da área foliar, da produção de matéria orgânica, da altura da planta, pela supressão de perfilhos, pelo retardamento dos estágios reprodutivos e por alterações na profundidade das raízes e no peso seco destas (GUIMARÃES et al., 2011).

Os ácidos húmicos (AH) têm demonstrado capacidade de reduzir os efeitos negativos resultantes da baixa disponibilidade de água em diferentes espécies de plantas. A aplicação de SH em plantas submetidas a essas condições exerce influência no sistema de defesa oxidativo, nos teores de pigmentos fotossintéticos e nos teores de prolina. Foi demonstrado que o “estresse coloidal” resultante do acúmulo de ácidos húmicos nas raízes, o que causa entupimento dos poros, é responsável por alterações metabólicas e pela regulação dos níveis de EROs e atividade de enzimas anti-oxidativas (GARCÍA et al. 2014; AGUIAR et al., 2016). Os compostos húmicos têm evidenciado a capacidade de atenuar os impactos adversos decorrentes da escassez de água em diversas espécies vegetais. A administração de substâncias húmicas em plantas sujeitas a tais condições exerce um impacto significativo no sistema de proteção antioxidante, nos níveis de pigmentos envolvidos na fotossíntese e nas concentrações de prolina. Estudos demonstraram que o “estresse devido ao acúmulo de substâncias húmicas” nas raízes, levando ao bloqueio dos poros, desencadeia modificações metabólicas e regula os níveis de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) e a atividade de enzimas antioxidantes (GARCÍA et al., 2014; AGUIAR et al., 2016).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a biotividade das raízes em plantas de arroz com e sem a aplicação de ácido húmico via radicular em ambiente sob condições normais e de déficit hídrico induzido por polietileno glicol (PEG-6000).

MATERIAL E MÉTODOS

O ácido húmico foi obtido a partir de vermicomposto (AHVC) de esterco bovino processado por minhocas vermelhas africanas (*Eudrilus eugenae* spp.) durante aproximadamente 90 dias, na Fazendinha Agroecológica do km 47, Seropédica-RJ. A substância húmica foi extraída seguindo a metodologia da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SISH) e de acordo com o protocolo metodológico descrito por Swift (1996).O experimento foi conduzido no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizada em Seropédica-RJ. A espécie utilizada no estudo foi o arroz (*Oryza sativa* L.) da variedade BRS Esmeralda, cultivado em casa de vegetação climatizada.

As sementes de arroz foram desinfestadas previamente com hipoclorito de sódio (2%) por 10 minutos e posteriormente lavadas com água destilada. Em seguida, as sementes foram transferidas a potes com gaze que continham somente água destilada.

Quatro dias após a germinação das sementes, as plântulas receberam uma solução de Hoagland (Hoagland e Arnon,1950) modificada a 1/8 da força iônica total (F.I.T). Após dois dias foi trocada a solução de Hoagland para 1/4 da F.I.T total, e novamente trocada depois de mais dois dias para 1/2 F.I.T. Dois dias após a última troca de solução, as plantas foram transplantadas para potes de 0,7L contendo solução de Hoagland a 1/2 F.I.T. Todas as soluções preparadas tinham como fonte de nitrogênio $N\text{-}NO_3^-$ a 2mM e pH ajustado a 5,6. Quinze dias após o transplantio foi iniciada a aplicação dos tratamentos, e cinco dias após o início dos testes ocorreram as coletas para avaliação das raízes.

Foi realizado um ensaio experimental onde ocorreu aplicação de ácido húmico via sistema radicular em plantas de arroz da var. BRS Esmeralda sob condições normais e de déficit hídrico induzido por polietileno glicol (PEG-6000). Adotaram-se quatro tratamentos: controle; AH (5 $mg.L^-$); PEG-6000; AH (5 $mg.L^{-1}$) + PEG-6000. As plantas foram submetidas ao estresse hídrico de forma gradual, no início dos tratamentos a indução ao estresse se deu por PEG-6000 aos 15%, um dia após a aplicação do PEG a concentração foi alterada para 20%, e passados mais dois dias foi aplicado PEG aos 25%, permanecendo nesta concentração até o momento da coleta.

A avaliação do desenvolvimento do sistema radicular das plantas mediante os diferentes caracteres morfológicos foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Tavares (2014). Utilizou-se um sistema de digitalização Epson Expression 10000XL. Os limites das imagens foram definidos sendo analisados os respectivos caracteres da raiz para sua quantificação, com digitalização em resolução de 600 dpi e então importados para o software WinRHIZO, 2012b (Régent Instruments, Quebec, Canadá Inc.)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 revela que o efeito resultante dos diferentes testes foi similar nas alterações de quantidade e de comprimento radicular (mm), havendo diferenças significativas entre as raízes de todos os tratamentos. Ambos os parâmetros foram estimulados em maior intensidade pelo teste com aplicação de AH, apresentando superioridade significativa aos demais tratamentos. O estresse hídrico também resultou em aumento significativo na quantidade e comprimento (mm) das raízes em relação ao controle, no entanto com menor intensidade. As raízes tratadas com AH+PEG apresentaram número e comprimento significativamente maiores que o tratamento com PEG, porém inferiores aos obtidos em raízes submetidas apenas ao AH.

A área radicular (mm^2) e o diâmetro médio (mm/10) apresentaram comportamento semelhante frente aos diferentes testes. As plantas submetidas ao déficit hídrico foram as únicas que não apresentaram diferenças significativas com o controle para estes indicadores morfológicos. Assim como para a quantidade e comprimento (mm) de raízes, a aplicação de AH resultou nos maiores valores de área (mm^2) e diâmetro médio (mm/10) radicular.

As plantas submetidas ao teste contendo AH+PEG demonstraram maior estímulo para estes parâmetros do que as raízes de plantas controle e de plantas submetidas somente ao estresse hídrico, todavia demostraram menor estímulo do que as plantas tratadas somente com AH. As raízes de plantas tratadas com PEG e com AH+PEG apresentaram volume (mm^3) estatisticamente diferente entre si, porém ambas não diferiram do controle, embora o tratamento com estresse tenha resultado em menor volume e o tratamento com AH+PEG em maior volume do que as plantas testemunhas. A aplicação do ácido húmico de vermicomposto resultou em valores significativamente maiores deste parâmetro em comparação aos outros testes.

Analisando a Figura 1 fica evidenciado que o estresse hídrico levou ao aumento da quantidade e comprimento (mm) de raízes em comparação com plantas cultivadas em condições normais. A explicação para este efeito pode ser atribuída ao exposto por alguns autores, onde afirmam que para evitar o estresse hídrico as plantas desenvolvem estratégias para aumentar a captação de água em profundidade, através do aumento na emissão de raízes e do alongamento radicular (HENRY, 2013; FERREIRA, 2017). De acordo com Herder et al. (2010), o desenvolvimento de raízes mais finas é um mecanismo desencadeado por plantas em situação de estresse hídrico com objetivo de aumentar a absorção de água, uma vez que raízes de menor diâmetro são mais eficientes neste processo.

A aplicação de AHVC em condições de estresse (AH+PEG) resultou em plantas com quantidade e comprimento (mm) de raízes maiores do que em plantas apenas sob estresse hídrico, além de apresentarem maior área (mm^2), volume (mm^3) e diâmetro (mm/10) radicular. Logo, a substância húmica contribuiu para o desenvolvimento do sistema radicular de plantas nesta condição adversa.

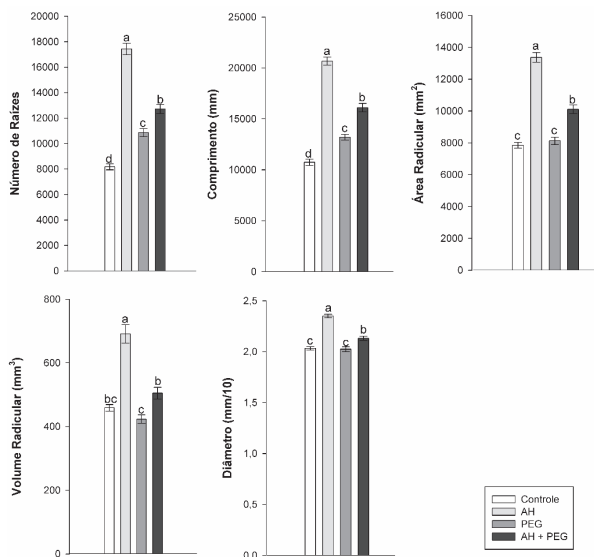



Figura 1: Efeitos da aplicação de ácido húmico de vermicomposto (AH), estresse hídrico (PEG-6000) e ácido húmico em conjunto com estresse hídrico (AH+PEG) em alguns parâmetros do desenvolvimento radicular de plantas de arroz da var. BRS Esmeralda.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento radicular das plantas respondeu de forma satisfatória à aplicação de ácido húmico de vermicomposto via radicular em condições normais e sob indução ao estresse hídrico. O AHVC amenizou as reduções na emissão, alongamento, volume, área e espessura radicular, resultantes do estresse. Nossos resultados corroboram com a afirmativa estabelecida na literatura sobre a capacidade que as SH possuem em induzir o crescimento, a morfologia e arquitetura radicular das plantas, auxiliando na proteção contra o déficit hídrico.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Química Biológica do Solo, ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, ao PPGA-CS, a SBCS e a UFRRJ. Também agradecemos às agências de fomento CAPES, FAPERJ e CNPq pela disponibilização de recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, N. O.; MEDICI, L. O.; OLIVARES, F. L.; DOBBS, L. B.; TORRES-NETTO, A.; SILVA, S. F.; NOVOTNY, E. H.; CANELLAS, L. P. Metabolic profile and antioxidante responses during drought stress recovery in sugarcane treated with humic acids and endophytic diazotrophic bactéria. **Annals of Applied Biology**, 2016.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. 1. ed. Campo dos Goytacazes: UENF, 2005. 309 p.

CASTRO, T. A.V. T.; BERBARA, R. L. L.; TAVARES, O. C. H.; MELLO, D. F. G.; PEREIRA, E. G.; SOUZA, C. C. B.; ESPINOSA, L. M.; GARCÍA, A. C. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants**. Plant Physiol Biochem**, v.162, p. 171–184, 2021.

FERREIRA, L. M. **Características morfológicas, fisiológicas e transcriptoma em variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) contrastantes quanto a tolerância ao estresse hídrico.** 2017. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

GARCÍA, A. C.; SANTOS, L. A.; IZQUIERDO, F. G.; RUMJANEK, V. M.; CASTRO, R. N.; SANTOS, F. S.; SOUZA, L. G. A; BERBARA, R. L. L. Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Journal of Geochemical Exploration**, 2014.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. P.; RANGEL, P. H.N.; RODRIGUES, C. A. P. Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 126-134, jan./mar. 2011

HENRY, A. IRRI's drought stress research in rice with emphasis on roots: accomplishments over the last 50 years. **Plant Root**, v. 7, p. 5-19, 2013

HERDER, G. D.; VAN ISTERDAEL, G.; BEECKMAN, T.; DE SMET, I. The roots of a new green revolution. **Trends in plant science**, v. 15, n. 11, p. 600-607, 2010.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **TRENDS in Plant Science**. Vol.11, No.1, January. 2006.

SWIFT, R. S. **Organic matter characterization.** In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society American, p.1011-1020, 1996.

TAVARES, O. C. H. **Efeito dos ácidos húmicos sobre as H+-ATPASE, transportadores de N-NO3- e N-NH4+, e sobre o crescimento em arroz.** 2014. 118 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

CAPÍTULO 52

FÓSFORO DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOB LATOSSOLOS, SUL DO BRASIL

Data de aceite: 01/04/2024

Robert Ferreira
Estudante de graduação em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Gabriel Coutinho Oliveira de Lemos
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Isabella Silva Lopes
Estudante de Engenharia Florestal (UFRRJ)

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Doutorando do PPGA–CS/UFRRJ

Jean Sérgio Rosset
Professor da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Marcos Gervasio Pereira
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O fósforo (P) no solo é crucial nos sistemas de produção, porém nos solos brasileiros, em condições naturais, ocorre de forma limitada, sendo que o sistema de manejo pode afetar a sua disponibilidade. O objetivo do estudo foi analisar as frações de P com diferentes graus de labilidade e potencial de disponibilidade nas áreas de produção agrícola sob solos com camada superficial de textura argilosa em áreas de produção agrícola no município de Guaíra (PR). Apenas a fração de P M3 (extraído com Mehlich 3) e o fósforo remanescente foram influenciados pelos diferentes sistemas de produção agrícola. O sistema de preparo convencional favoreceu o aumento nos teores de P M3 e sistema plantio direto em fase de consolidação proporcionou maior capacidade de adsorção de fósforo.

PALAVRAS-CHAVE: fixação de fósforo, fósforo lábil, sistema plantio direto

SOIL PHOSPHORUS IN PRODUCTION SYSTEMS UNDER LATOSOLS, SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT: Phosphorus (P) in the soil is crucial in production systems, but in Brazilian soils, under natural conditions, it occurs to a limited extent, and the management system can affect its availability. The aim of the study was to analyze the P fractions with different degrees of lability and potential availability in agricultural production areas under clay-textured topsoil in agricultural production areas in the municipality of Guaíra (PR). Only the fraction extracted with Mehlich 3

solution (P M3) and the remaining phosphorus were influenced by the different production systems. The conventional tillage system favored an increase in P M3 content (labile) and the no-tillage system in the consolidation phase provided greater phosphorus adsorption capacity. Multivariate analysis was efficient in separating and grouping the different production systems.
KEYWORDS: labile phosphorus, no-tillage system, phosphorus fixation

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente chave na produção vegetal (DEISS et al., 2016; PRAKASH et al., 2018), sendo o elemento essencial que mais frequentemente limita a produtividade agrícola no planeta (PICCIN et al., 2017). As formas e proporções de P presentes no solo variam, podendo o P estar em formas orgânicas e inorgânicas (HAYGARTH et al., 2018). A dinâmica destas formas de P no solo é bastante complexa e depende de inúmeras variáveis, como textura e mineralogia (TOKURA et al., 2011), sistema de manejo adotado (PEREIRA et al., 2010), formas de adubação utilizada (GUARDINI et al., 2012) e fatores ambientais bióticos e abióticos (RESENDE et al., 2011).

Adicionalmente em regiões de clima tropical com solos altamente intemperizados, a deficiência de P é um problema especialmente complexo (Teles et al., 2017). Tais solos são predominantemente oxidícos (predomino de hematita e goethita) e a forma como os óxidos se apresentam influência diretamente na adsorção de P no solo. A forma de uso do solo também é um fator preponderante no comportamento do P no solo. Algumas características do sistema plantio direto (SPD) por exemplo, podem alterar a dinâmica e disponibilidade do P no solo e, consequentemente, na resposta das culturas à adubação fosfatada (CARNEIRO et al., 2011; GUARESCHI et al., 2015). O menor revolvimento do solo no SPD diminui os processos erosivos, além de propiciar maior teor de água (facilitando o mecanismo de difusão), que diminui o contato entre os colóides do solo e o íon fosfato, reduzindo as reações de adsorção (CARNEIRO et al., 2011).

Segundo GATIBONI;CONDRON (2021) uma grande variedade de esquemas de fracionamento de P do solo foram desenvolvidos e usados extensivamente por décadas. No entanto, a maioria é trabalhosa e fornece informações limitadas sobre parâmetros-chave, como mobilidade e adsorção P. O fósforo remanescente (P-rem) é um atributo que indica a quantidade de P que permanece na solução de equilíbrio em resposta a uma concentração de P adicionada ao solo. A disponibilidade do fósforo no solo pode ser estimada pelo teor de argila, porém em alguns estados brasileiros, utiliza-se há algum tempo o teor do P-rem para definição de classes de disponibilidade de P para realizar a recomendação da adubação fosfatada (ALVAREZ et al., 1999; LISBOA et al, 2012) e como uma ferramenta para avaliar a capacidade tampão do P no solo já que o P-rem apresenta estreita correlação com P disponível (WADT;SILVA, 2011). A partir do exposto, o estudo teve como objetivo analisar as frações de P com diferentes graus de labilidade e potencial de disponibilidade nas áreas de produção agrícola sob solos com camada superficial de textura argilosa.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Guaíra (PR) (Figura 1). O clima da região segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014) é subtropical e a vegetação nativa da área é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Aluvial. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico, com textura muito argilosa segundo ASSUNÇÃO et al. (2019) com bases em SANTOS et al. (2018).

Foram selecionadas quatro áreas manejadas, a saber: sistema de preparo convencional (SPC), com cultivados de feijão (*Phaseolus vulgaris*) rotacionado com aveia (*Avena sativa*); sistemas plantio direto (SPD) com 6 anos (fase de transição), e 18 anos (fase de consolidação) de instalação na rotação de soja/milho (*Glycine max* e *Zea mays*, respectivamente) (SPD6 e SPD18); e sistema de pastagem permanente (PP) com 45 anos de instalação coberta com coast-cross (*Cynodon dactylon*). Também foi selecionada uma área de floresta secundaria do bioma Mata Atlântica considerada como referência (FS). Perfazendo cinco áreas amostrais (Figura 2).

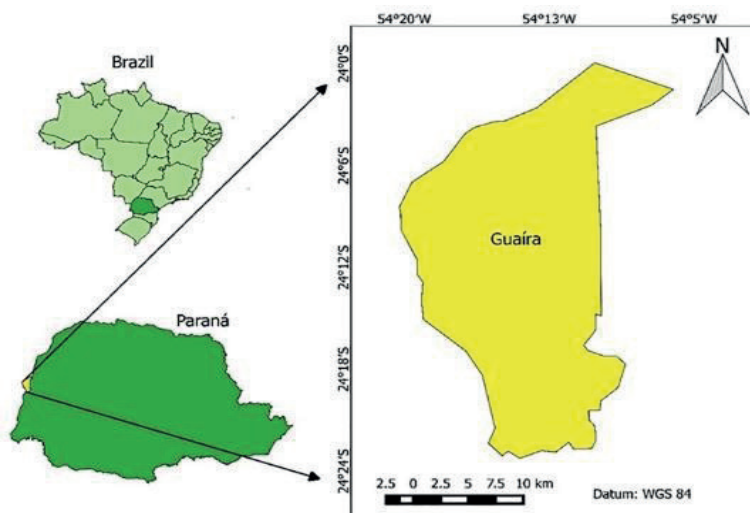



Figura 1: Localização geográfica da área de estudo.

Fonte: Assunção et al. (2018).

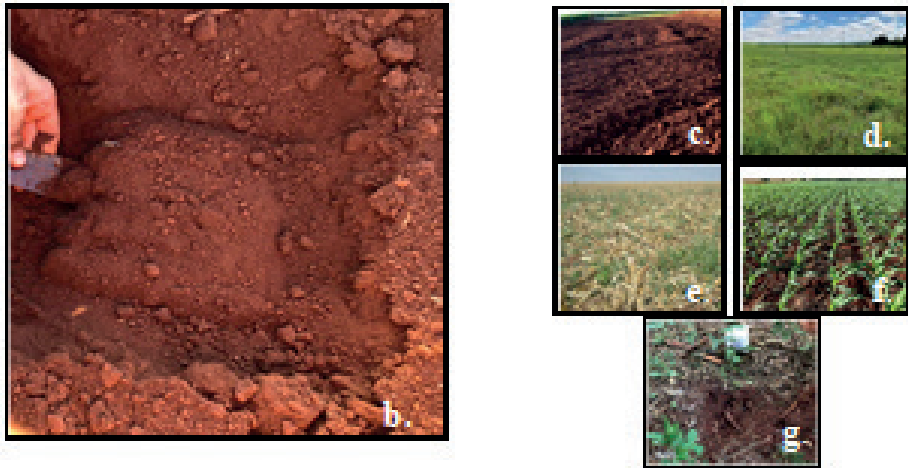



Figura 2: Coleta das amostras nas áreas de estudo no município de Guaíra (PR). b. Mini trincheira em que foi realizada a coleta dos torrões nas diferentes áreas; c. SPC; d. PP.; e. SPD6 anos; f. SPD18 anos; e g. MN. Fonte: Elaborado pelo autor.

A amostragem foi realizada em abril de 2019, e em cada área amostral foram coletadas cinco pseudorepetições em formato de torrão (amostras indeformadas), a partir da abertura de mini trincheiras com dimensões aproximada de 25 x 25 cm (Figura 2 b). A coleta foi realizada na camada superficial (0–5 cm de profundidade) com auxílio de uma pá quadrada. Após a coleta, as unidades amostrais foram secas ao ar, destorroadas e passados por peneira de 2,0 mm de malha, obtendo-se assim a fração terra fina seca ao ar (TEIXEIRA et al., 2017).

Os teores de fósforo total (TP) foram extraídos e determinados segundo Tedesco et al. (1995). As frações de P foram extraídas de acordo com o método proposto por GATIBONI; CONDRON (2021). A partir de 0,5 g de TFSA foram extraídas sequencialmente cinco frações de P com diferentes graus de labilidade e potencial de disponibilidade, a saber: P solúvel com solução de $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} (P sol) (lábil); P disponível com solução de extratora Mehlich 3 (MEHLICH, 1984) (P M3) (lábil); P inorgânico e P autoclavado extraído com solução de NaOH 0,5 mol L^{-1} (Pi OH e P autoclave, respectivamente) (moderadamente lábil); e P extraído com HCl 1 mol L^{-1} (P HCl) (moderadamente lábil). A determinação das concentrações de P em cada fração foi realiza por colorimetria (MURPHY;RILEY, 1962). O P orgânico extraído com NaOH (Po OH) foi obtido pela diferença entre o Pautoclave e o Pi OH. Também foi quantificado o P ocluso (P oclu) (não lábil), constituído pelas formas Pi e Po altamente recalcitrantes que não foram extraídos pelos extratores utilizados. O P oclu foi obtido pela subtração dos teores de P das frações P sol, P M3, Pi OH, Po OH e P HCl do PT. A quantificação dos teores de fósforo remanescente (P-rem) foi realizada segundo ALVAREZ;FONSECA (1990), com adaptações de WADT;SILVA (2011) e a determinação dos teores foi feita segundo BRAGA;DEFELIPO (1974).

O estudo foi analisado estatisticamente em esquema unifatorial em delineamento inteiramente casualizado. Os teores de P em cada fração foram analisados quanto a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de SHAPIRO-WILK;BARTLETT, respectivamente. As variáveis que não apresentarem distribuição normal ou homogeneidade foram transformadas de acordo com o teste de Box-Cox e foram novamente testadas. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste de F (ANOVA) quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos (variáveis transformadas ou não). Algumas variáveis não atenderam os pressupostos da análise de variância mesmo após transformação, nesses casos, foram analisadas pelo teste não-paramétrico de KRUSKAL-WALLIS mais diferença mínima significativa de Fisher (LSD) com correção de Bonferroni. A análise de componentes principais (APC) foi construída com base na matriz de correlação de Pearson. Todos os testes estatísticos foram realizados à 5% de significância pelo Software R (R CORE TEAM, 2020) com os pacotes “Openxlsx”, “ExpDes.pt” e “Ggplot2”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre as áreas de SPD06, SPD18 e SPC e PP não foram verificadas diferenças nos teores de P nas diferentes frações, com exceção da fração de P M3. Os maiores teores de P M3 foram verificados no SPC (± 92 mg kg^{-1}) (Tabela 1). O Mehlich 3 pode extrair P, Fe e Al ligados com baixa energia às cargas do solo, bem como pode extrair esses cátions de óxidos de baixa cristalinidade. A quantificação de P, Fe e Al extraídos por Mehlich pode ser usada para calcular o grau de saturação de P (GATIBONI;CONDRON, 2021).

Tabela 1: Frações de P de áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo na região Sul do Brasil.

Uso do solo	PT [2]		P sol [2]		P M3 [2]		Pi OH [1]	
	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%
SPC	502,49 a	100	1,60 a	0,30	91,77 a	15,73	164,48 a	34,35
SPD06	512,84 a	100	1,05 a	0,20	31,91 bc	6,28	157,88 a	30,99
SPD18	442,81 a	100	1,14 a	0,26	46,13 ab	10,46	141,06 a	31,83
PP	401,11 a	100	1,79 a	0,44	22,24 c	5,50	140,45 a	34,86
CV%	24,81		65,40		95,20		16,80	
FS	650,76	100	0,95	0,15	11,54	1,77	138,68	21,30
	Po OH [1]		**P HCl** [3]		**P oclu** [1]		**P-rem** [1]	
	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%	mg L^{-1}	%
SPC	110,46 a	22,34	15,82 a	3,05	118,36 a	24,22	30,70 ab	48,83
SPD06	151,83 a	29,71	12,46 a	2,77	157,72 a	30,34	30,33 ab	49,45
SPD18	126,63 a	28,53	12,18 a	2,46	115,66 a	26,15	28,20 b	53,00
PP	132,38 a	33,07	15,02 a	3,78	89,23 a	22,35	31,43 a	47,62
CV%	21,20		33,00		30,50		5,20	
FS	137,84	21,12	9,90	1,52	351,85	54,14	27,63	53,95

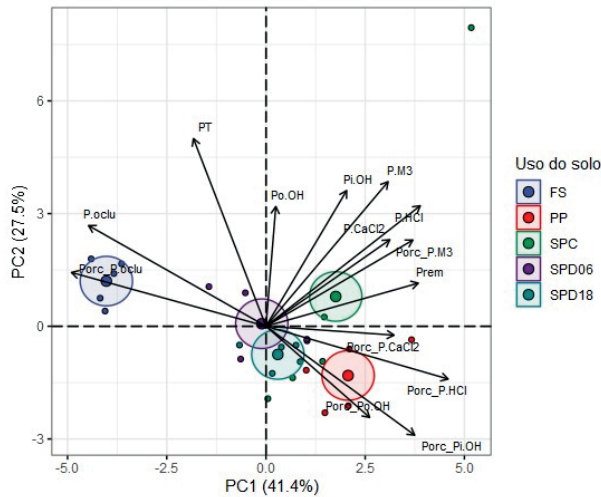
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem os teores de P entre os sistemas de uso do solo. [1]ANOVA + Teste de Tukey sem transformações de dados; [2]ANOVA + Teste de Tukey com transformações de dados; e [3]Teste de Kruskal-Wallis + diferença mínima significativa de Fisher. SPC: Sistema de preparo convencional; SPD06: Sistema plantio direto em fase de transição; SPD18: Sistema plantio direto em fase de consolidação; PP: Pastagem permanente; FS: Floresta secundaria no bioma Mata Atlântica; PT: Fósforo total; P sol: Fração de P solúvel com solução de $CaCl_2$; P M3: Fração de P disponível com solução de extratora Mehlich 3; Pi OH: Fração de P inorgânico extraído com solução de NaOH; Po OH: Fração de P orgânico extraído com solução de NaOH; P HCl: Fração de P inorgânico extraído com HCl; P oclu: Fração de P ocluso; P-rem: Fósforo remanescente; e %P-rem: ((solução de $CaCl_2$ contendo 60 mg L^{-1} P – teores de P-rem)/ solução de $CaCl_2$ contendo 60 mg L^{-1})*100.

SPC: Sistema de preparo convencional; SPD06: Sistema plantio direto em fase de transição; SPD18: Sistema plantio direto em fase de consolidação; PP: Pastagem permanente; FS: Fragmento de floresta secundaria no bioma Mata Atlântica; P $CaCl_2$: Fração de P solúvel com solução de $CaCl_2$; P M3: Fração de P disponível com solução de extratora Mehlich 3; Pi OH: Fração de P inorgânico extraído com solução de NaOH; Po OH: Fração de P orgânico extraído com solução de NaOH; P HCl: Fração de P inorgânico extraído com HCl; P oclu: Fração de P ocluso; e PT: Fósforo total.

Figura 3: Análise componentes principais (ACP) integrando as variáveis (teores e porcentagens) relacionadas ao fracionamento do P do solo de áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo na região Sul do Brasil.

Em relação as proporções de P em cada fração, destaque para as porcentagens de Po OH na área de PP (33,07%). Para as áreas de SPD06 e SPD18, as frações de P oclu (30 e 26%) e Pi OH (31% e 32%) apresentaram consideráveis participações no PT (Tabela 1). Na área de PP foram quantificados os maiores teores de P-rem (correspondendo a 47,62%), indicando um menor número de sítios de reação disponibilidade para P. Na área de SPD18 verificou-se os menores teores de P-rem (53%), evidenciando maior capacidade de adsorver P. Através da análise de componentes principais (ACP), verifica-se para as componentes principais (PC) 1 e 2 valores de 41,4 e 27,5%, respectivamente. Explicando 68,9% da variabilidade total dos dados. Por meio da ACP, foi possível observar a separação das áreas com a formação três grupos distintos: grupo 1, formado pelas áreas de PP e SPD18 (quadrante inferior direto); grupo 2, formado pela área de FS (quadrante superior esquerdo); e grupo 3, formado pela área de SPC (quadrante superior direito). A área de SPD06 encontra-se posicionada praticamente no centro da ACP (Figura 3). O eixo principal (PC1) separou as áreas de SPC e FS das áreas de SPD18 e PP (Figura 3).

As variáveis que mais contribuíram (valores de correlação $-0,70 \geq r \geq 0,70$) para a formação da PC1 foram Porc_P HCl (0,86), P HCl (0,72), Prem (0,72), Porc_P M3 (0,70), Porc_Pi OH (0,70), P oclu (–0,83) e Porc_P oclu (–0,91). Destaque para a área de SPC

que apresentou elevada associação com a maioria das variáveis mencionadas. O eixo secundário (PC2) separou a área de FS das áreas de SPC, SPD18 e PP (Figura 3). As variáveis PT (0,93), P M3 (0,72) e Pi OH (0,70) foram os atributos discriminantes que auxiliaram na construção do PC2. A área de PP está relacionada com as porcentagens das frações de P $CaCl_2$ (solúvel), Pi e Po OH e P HCl (Figura 3).

CONCLUSÕES

Apenas a fração extraída com solução de Mehlich 3 (P M3) e o fósforo remanescente foram influenciados pelos diferentes sistemas de produção. O sistema de preparo convencional favoreceu o aumento nos teores de P M3 (lábil) e sistema plantio direto em fase de consolidação proporcionou maior capacidade de adsorção de fósforo. A análise multivariada foi eficiente na separação e agrupamento dos diferentes sistemas de produção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da CAPES, CNPq, PPGA-CS/ UFRRJ, UEMS E AGRISUS.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVARES, C.A., STAPES, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M., SPAROVEK, G. **Koppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22 (6), p. 711–728, 2014.

ALVAREZ, V. V. H.; FONSECA, D. M. **Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação**. Rev Bras Ciênc Solo, v. 14, p. 49–55, 1990.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (editores). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais; 1999. p. 25–32.

ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA, A. C. **Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil**. Science of the Total Environment, v. 658, p. 901-911, 2019.

BRAGA, J.M.;DEFELIPO,B.V. **Determinação estectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal**. Revista Ceres, v. 21, p. 73-85, 1974.

CARNEIRO, L. F.; VILELA DE RESENDE, A.; FURTINI NETO, A. E.; LOPES SANTOS, J. Z.; CURI, N.; PEREIRA REIS, T. H.; RIBEIRO DO VALLE, L. A. **Soil phosphorus fractions in response to phosphate fertilization in an Oxisol under different land uses**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 483-491, 2011. http://dx.doi.org/doi:180218547017. 2011.

DEISS, L.; DE MORAES, A.; DIECKOW, J.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GATIBONI, L. C.; LANZI SASSAKI, G.; CARVALHO, P. C. **Soil phosphorus compounds in integrated crop-livestock systems of subtropical Brazil.** Geoderma, v. 274, p. 88-96, 2016.https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.028. 2016.

GATIBONI, L. C.; CONDRON, L. M. **A rapid fractionation method for assessing key soil phosphorus parameters in agroecosystems.** Geoderma, v.385, 114893, 2021. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114893.

GUARDINI, R.; COMIN, J. J.; SCHIMITT, D. E.; TIECHER, T.; BENDER, M. A.; RHEINHEIMER, D. S.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. **Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 93, p. 215-225, 2012. https://doi.org/10.1007/s10705-012-9511-3.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. **Adsorption of P and forms of iron in no-tillage areas in the Cerrado biome**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 37,1, p. 109-116, 2015. http://dx.doi.org/doi:10.4025/actasciagron.v37i1.17686.

HAYGARTH, P. M.; HINSINGER, P.; BLACKBURN, D. **Organic phosphorus: potential solutions for phosphorus security**. Plant and Soil, v. 427, p. 1-3, 2018. https://doi.org/10.1007/s11104-018-3675-9.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; ABICHEQUER, A. D.; DORNELES, E. P.; CAPITANI, B. **Determinação do fósforo remanescente como método alternativo à textura na indicação da classe de disponibilidade de fósforo em três solos**. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, 18(1), 81–84, 2012.

MURPHY, J., RILEY, J.P., 1962. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters**. Anal. Chim. Acta, v. 27, 31-36.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. **Carbon, light organic matter and remaining phosphorus in different soil management systems.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, p. 508-514. 2010. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500010.

PICCIN, R.; KAMINSKI, J.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T.; GATIBONI, L. C.; BELLINASO, R. J. S.; BRUNETTO, G. **Distribution and redistribution of phosphorus forms in grapevines**. Scientia Horticulturae, v. 218, p. 125-131, 2017. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.023.

PRAKASH, D.; BENBI, D. K.; SAROA, G. S. **Land-use effects on phosphorus fractions in Indo-Gangetic alluvial soils**. Agroforestry Systems, v. 92, n. 2, p. 437-448, 2018. https://doi.org/10.1007/s10457-016-0061-6.

RESENDE, J. C. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MARKEWITZ, D., KLINK, C. A.; DAVIDSON, E. A. **Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: impacts of frequente burning**. Biogeochemistry, v. 105, p. 105-118, 2011. https://doi.org/10.1007/s10533-010-9531-5.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2 ed., v.174. 1995.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 573p, 2017.

TELES, A. P. B.; RODRIGUES, M.; BEJARANO HERRERA, W. F.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S. **Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers?** Soil Use and Management, v. 33, n. 1, p. 34-44, 2017. https://doi.org/10.1111/sum.12327.

TOKURA, A. M.; FURTINI, A. E.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; ALOVISI, A. A. **Dynamics of phosphorus forms in soils with contrasting texture and mineralogy cultivated with rice**. Acta Scientiarum Agronomy, v. 33, p. 171-179, 2011. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.1435.

WADT, P. G. S.; SILVA, L. M. **Determinação do fósforo remanescente para a avaliação da disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre; 2011. (Comunicado técnico, 178).

CAPÍTULO 53

MODULAÇÃO DOS GENES *OSNRT1.1*, *OSGS1.2*, *OSGS2* MEDIANTE APLICAÇÃO FOLIAR E RADICULAR DO EXTRATO AQUOSO DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* E SEUS EFEITOS NOS TEORES DE NITRATO EM PLANTAS DE ARROZ

Data de aceite: 01/04/2024

Samuel de Abreu Lopes
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Raphaella Esterque Cantarino
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Ayhessa Cristina Santos de Lima
Estudante de graduação em Agronomia (UFRRJ)

Erinaldo Gomes Pereira
Pós-doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitosanidade (UFRRJ)

Tadeu Augusto Van Tol de Castro
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (UFRRJ)

Andrés Calderín García
Professor do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: O cenário global vem acentuando a busca por candidatos a bioestimulantes que sejam de produção sustentável e atendam as demandas da produção e da saúde dos ecossistemas. Dessa forma, as macroalgas que vêm sendo difundidas no território nacional e compõem uma lista de produtos naturais que atende essa demanda como candidato a biofertilizantes devido sua riqueza biológica. O presente ensaio teve como objetivo a utilização do extrato aquoso via radicular à 2% e foliar à 2 e 10% da macroalga *Kappaphycus alvarezii*(K-sap) em diferentes concentrações a fim de avaliar a expressão de genes envolvidos no metabolismo de nitrogênio e os teores de nitrato em plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva. Os resultados foram substanciais e mostraram como a via de aplicação e suas dosagens influenciam na expressão desses genes e modulam os teores de nitrato em diferentes partes da planta de arroz. O tratamento radicular com K-sap à 2% diminui a expressão do transportador *OsNRT1.1* na raiz e aumentou a expressão de *OsGS1.2* indicando maior assimilação do nitrato, com destaque também para K-sap via foliar à 2 e 10% aumentou os teores de nitrato na raiz e na bainha conforme estimulou o transportador de nitrato, seja na parte aérea seja na radicular. Constatou-se que a aplicação em suas diferentes formas na planta, foliar e radicular, bem como suas doses modulam os genes envolvidos no metabolismo de nitrogênio e refletem na composição das plantas de arroz submetidas a esses tratamentos.

PALAVRAS-CHAVE: bioestimulantes, expressão gênica, macroalga

MODULATION OF *OSNRT1.1*, *OSGS1.2*, *OSGS2* GENES ON RICE PLANTS UNDER FOLIAR AND RADICULAR APPLICATION OF AQUEOUS EXTRACT OF *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* AND THEIRS EFFECTS ON NITRATE LEVELS

ABSTRACT: The global situation worldwide has been intensifying the search for biostimulant sustainable candidates that serve for global production and ecosystem health. This way the seaweeds who were expanding the production on Brazilian territories and was on a list of natural products matching with this demand due their biological complexity. This assay aims at the use on nutrient solution under 2% dosage and foliar under 2 and 10% dosage way of aqueous extract of *Kappaphycus alvarezii*(K-sap) on different concentrations to understand the genetic expression of nitrogen metabolism genes and the nitrate levels on different parts of rice plants. The results show the difference between treatments and ways of application. The use on nutrient solution under 2% concentration decrease the expression of *OsNRT1.1* transporter on the roots and increase the expression of *OsGS1.2* generating more nitrate assimilation, with highlights to foliar application too under 2 and 10% concentration increase the nitrate levels on roots and stems and increase the activity of nitrate transporter *OsNRT1.1* on leaf and roots. The results show the application of K-sap on nutrient solution and foliar with different concentrations modulate the gene expression of nitrogen metabolism and reflect on the composition of rice plants under the treatments.
KEYWORDS: biostimulants, gene expression, seaweed

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com o crescimento desenfreado da população mundial e a escassez de recursos ao redor do mundo, devido a atividades exercidas de forma predatória, há uma tendência global para aumentar a eficiência dos recursos naturais ainda disponíveis e diminuir os impactos das atividades agrícolas nos ecossistemas e na saúde da população global. Além disso, o uso indiscriminado de fertilizantes químicos e agrotóxicos vem junto a essa tendência na medida em que saliniza e destrói a microbiota do solo, gerando um habitat desfavorável para produção vegetal e que favorece o surgimento de pragas e doenças. Visto essas mazelas e à proporção que elas vêm ganhando ao longo do tempo ao redor do mundo, os bioestimulantes aparecem como um aliado à produção vegetal e a garantia de uma produção sustentável que pode aprimorar a produtividade.

As macroalgas que vem se expandindo nos litorais do Brasil, com a maricultura mostrando aumento de mais de 50% nos últimos anos, são candidatas ideais a compor bioestimulantes de alto valor, devido a sua disponibilidade e alta capacidade de produção nacional (YUNUS et al., 2023). A macroalga *Kappaphycus alvarezii* possui potencial para os vegetais como bioestimulantes ao promover melhores colheitas, seja substituindo ou complementando os fertilizantes convencionais, devido sua riqueza e complexidade

biológica. Sua fabricação é tida como sustentável pela baixa emissão de carbono no processo (GHOSH et al., 2015), o que garante a geração de um produto adequado para o cenário atual. Os extratos de *K.alvarezii* e seus mecanismos de ação em plantas acontece de formas já conhecidas pela literatura; uma delas é a aplicação do puro extrato via foliar ou radicular, pureza essa que garante a integridade dos componentes bioativos da macroalga; a segunda forma é relacionada a pequenas concentrações aplicadas nos vegetais, o que promove potencial para o uso em diferentes culturas (VAGHELA et al., 2023).

Visto as potencialidade do uso de *K.alvarezii* e a necessidade de bioestimulantes no cenário mundial, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do uso radicular e foliar do extrato aquoso de *K.alvarezii* na modulação de plantas de *Oryza sativa* var. Nipponbare e seus respectivos genes de interesse, influenciando nos teores da biomassa modulados pela expressão dos mesmos após aplicação.

MATERIAL E MÉTODOS

Uma biomassa de 20 Kg de *Kappaphycus alvarezii* fresca, crescida em condições naturais de atividades de algicultura na baía de Ilha Grande, Paraty-RJ, foi processada no Laboratório de Química Biológica do Solo do Departamento de Solos no Instituto de Agronomia. A alga fresca foi obtida em parceria com o Laboratório de Tecnologia de Alimentos, Departamento de Engenheira Bioquímica - Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As amostras da macroalga foram congeladas em -20ºC durante três dias, em seguida foram descongeladas, havendo extravasamento do conteúdo intracelular, que em seguida foi filtrado em papel de filtro Whatman No.2. Este processo produziu o sobrenadante, que consiste na seiva de *Kappaphycus alvarezii* (K-sap).

A espécie utilizada no estudo foi o arroz (*Oryza sativa L.*) da variedade Nipponbare. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação climatizada na condição de: 70% de UR e temperatura de 26 ºC. As sementes de arroz foram desinfestadas antes da germinação com hipoclorito de sódio (2%) por 10 minutos e posteriormente lavadas com água destilada. Em seguida, as sementes foram colocadas em potes com gaze que continham água destilada. Dois dias após a germinação (DAG) das sementes, as plântulas receberam uma solução de Hoagland modificada a 1/8 da força iônica (F.I) total. Após quatro dias foi trocada a solução de Hoagland para 1/4 da F.I total. Três dias após a última troca de solução, as plantas foram transplantadas para potes de 0,7L contendo solução de Hoagland a 1/4 F.I total. Três dias após o transplantio houve a troca de solução para ½ F.I total, sendo renovada a cada três dias até o momento da coleta. Todas as soluções preparadas tinham como fonte de nitrogênio N-NO_3^- a 2mM e pH ajustado a 5,6.

A aplicação dos tratamentos contendo K-sap por diferentes vias e doses ocorreu aos 21 e 24 DAG. As doses utilizadas foram selecionadas de acordo com resultados obtidos previamente de acordo com o interesse do estudo. Foram adotados quatro tratamentos:

controle, K-sapR2% (aplicação via radicular na dose de 2% preparada em solução nutritiva), K-sapF2% (aplicação via foliar na dose de 2%) e K-sapF10% (aplicação via foliar na dose de 10%). Para a pulverização foliar, foi aplicado um volume diretamente nas folhas até atingir o ponto de gotejo, sendo de 8 mL (primeira aplicação) e 10 mL (segunda aplicação) por unidade experimental. A coleta ocorreu aos 27 DAG, às 144 horas após o início dos tratamentos. Os delineamentos experimentais adotados foram inteiramente casualizados. As análises estatísticas serão realizadas no programa Statgraphic plus v.5.5. Os testes de médias serão feitos por tukey ($p<0,05$), e os gráficos serão elaborados no programa Sigmaplot 12.0.

Com a finalidade de obter a fração N-nitrato foi realizada a extração alcoólica e partição com clorofórmio de 1 grama de material vegetal de acordo com (FERNANDES, 1984). A determinação dos teores de N-nitrato foi realizada segundo (MIRANDA et al., 2001).

A extração de RNA total foi feita usando o tampão NTES (0.2 mM Tris-HCl pH 8.0; 25 mM EDTA pH 8.0; 0.3 mM NaCl; 2% SDS). A quantificação do RNA total foi realizada com o Nanodrop (Thermo Scientific) e a qualidade foi verificada por meio da razão A260/230 e A260/A280 e visualização em gel de agarose a 1%. Em seguida, as amostras de RNA total foram tratadas com DNase I (Life Technologies) e o cDNA foi sintetizado com TaqMan Reverse Transcription Reagents (Applied Biosystems, Inc.) e oligo dT primer de acordo com as recomendações dos fabricantes. qRT-PCR foi realizada no StepOnePlus Real-Time PCR System (Applied Biosystems) usando o SYBR Green PCR Master Mix" kit (Applied Biosystems, Inc.). *OseEf* foi utilizado como controle endógeno.

Tabela 1: Sequências de nucleotídeos (5' a 3') usadas para amplificar os scripts de cDNA na análise quantitativa em tempo real (qRT-PCR).

Par de Primer	Sequências de nucleotídeos (5' a 3')	Forward / Reverse
OsNRT 1.1	AGGGGGTACGTCTACAAGGA	Forward
OsNRT 1.1	AGCTTGCGTATGTCATGCTG	Reverse
OsGS 1.2	TCCTCGAGAGGGTCACAGAG	Forward
OsGS 1.2	GAGCTTGTCGATCGCCTTCT	Reverse
OsGS 2	AGGCGAAGGGAAAAGGCTAC	Forward
OsGS 2	GAGGGTTGGCTCCCAAAGAA	Reverse

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a expressão relativa de genes que codificam para transportadores relacionadas ao metabolismo de nitrogênio em plantas de arroz após aplicação dos diferentes tratamentos com K-sap via foliar e radicular. A expressão do gene que codifica para o transportador *OsNRT1.1*, que está relacionado a um transportador de NO_3^- de baixa

afinidade, foi estimulada, embora não significativamente, nas raízes quando aplicado o K_{Alv}-sap via foliar em relação ao controle. A aplicação radicular de K_{Alv}-sap ocasionou supressão significativa da expressão do transportador *OsNRT1.1* em raízes quando comparado ao controle. Nas folhas, a aplicação foliar de K_{Alv}-sap em ambas as concentrações (2% e 10%) aumentou significativamente a expressão de *OsNRT1.1* quando comparado ao controle (Figura 1A).

A expressão do gene da glutamina sintetase citosólica *OsGS1.2* mostrou uma superexpressão quando aplicado o K_{Alv}-sap tanto foliar como radicular. Especialmente, o tratamento via radicular a 2% estimulou significativamente a expressão do *OsGS1.2* em até 4 vezes quando comparado ao controle (Figura 1B), por outro lado, a expressão dos genes *OsGS2* mostrou supressão tanto para as aplicações foliares quanto radiculares, especialmente para as aplicações foliares, a resposta na diminuição da expressão foi estatisticamente diferente ao controle (Figura 1C). Ambos os genes codificam para isoformas de glutamina sintetase, estando envolvidos na assimilação de NH_4^+, porém o *OsGS1.2* é expresso exclusivamente nas raízes enquanto o *OsGS2* é expresso exclusivamente nas folhas.

Os resultados obtidos aqui mostram um envolvimento do metabolismo do N na ação de K_{Alv}-sap nas plantas de arroz, principalmente quando aplicados via radicular a 2%. A influência da aplicação de K_{Alv}-sap no metabolismo do N se confirma pela expressão nas raízes dos genes *OsGS1.2*, isto porque tais genes são chaves para a assimilação de íons NH_4^+ absorvidos pelas raízes, assim como participa no balanço adequado do metabolismo do N e do C (BAO et al., 2014).

A Figura 1D mostra os valores de concentração de N-NO_3^- em raízes, bainhas e folhas de plantas de arroz após aplicação dos diferentes tratamentos com K-sap via foliar e radicular. Nas raízes e nas bainhas das plantas, a aplicação radicular de K_{Alv}-sap 2%, promoveu uma redução significativa de N-NO_3^- enquanto a aplicação de K_{Alv}-sap via foliar aumentou significativamente a concentração de NO_3^-. Nas folhas, os teores de N-NO_3^- não mostraram diferenças estatísticas entre os tratamentos e com relação ao controle.

Estes resultados indicam que a aplicação de K_{Alv}-sap regula o metabolismo do N nas plantas. Aos 27 dias, as aplicações de K_{Alv}-sap estimulam a absorção de N-NO_3^- via transportador *OsNRT1.1*, um transportador de baixa afinidade (FAN et al., 2015). Este resultado é importante porque há relatos sobre o transportador *OsNRT1.1* como centro de processo de sinalização nas plantas, regulador do crescimento radicular e como transportador de auxinas. A regulação no metabolismo de N ainda se confirma pelo aumento da expressão de *OsGS1.2*, gene que codifica para GS citosólica, envolvida na assimilação primária de NH_4^+ na raiz, e isto coincidiu com o aumento de N-amino formado nos tecidos das raízes e folhas, principalmente para o tratamento de aplicação foliar de 2%.

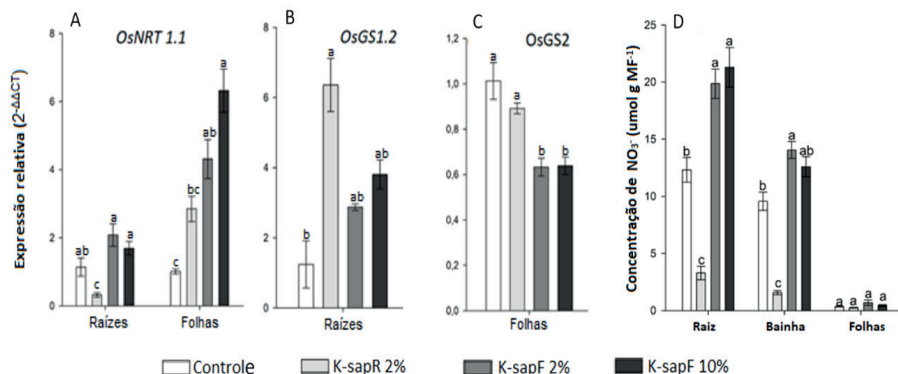



Figura 1: Expressão dos genes após aplicação dos respectivos tratamentos A- OsNRT 1.1 radicular e foliar, B- *OsGS1.2* radicular, C- *OsGS2* foliar. D- Teores de Nitrato na bainha, folha e raiz após os respectivos tratamentos.

CONCLUSÕES

Os resultados foram à contento ao objetivo do estudo e evidenciaram a modulação de 3 diferentes genes envolvidos no metabolismo do nitrogênio. Os respectivos teores de nitrato variaram em diferentes regiões da planta, conforme os tratamentos de K-sap seja radicular ou foliar indicando a modulação pela expressão gênica. A aplicação radicular de K-sap reduziu os teores de $N\text{-}NO_3^-$ radicular e na expressão do transportador de nitrato *OsNRT1.1* além de estimular a expressão de *OsGS1.2* que é responsável pela assimilação do mesmo. Por outro lado, a aplicação foliar estimulou positivamente o transportador *OsNRT1.1* e direcionando o nitrato para raízes e bainhas. Os resultados abrem horizontes para novos estudos e compreensão do funcionamento de bioestimulantes de *K.alvarezzi,* que pode ser um grande aliado para incremento na produção agrícola a nível global.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Química Biológica do Solo e o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, ao Departamento de Solos, ao PPGA-CS, ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos - Departamento de Engenharia Bioquímica da UFRJ e às agências de fomento CNPq, CAPES e FAPERJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAO, A.; ZHAO, Z.; DING, G.; SHI, L.; XU, F.; CAI, H. Accumulated expression level of cytosolic glutamine synthetase 1 gene (OsGS1;1 or OsGS1;2) alter plant development and the carbon-nitrogen metabolic status in rice. **PLoS One**, v. 9, e95581, 2014.

FAN, X.; FENG, H.; TAN, Y.; XU, Y.; MIAO, Q.; XU, G. A. putative 6-transmembrane nitrate transporter OsNRT1.1b plays a key role in rice under low nitrogen**. J. Integr. Plant Biol.,** v. 58, p. 590–599, 2015.

FERNANDES, M. S. **N-carriers, light and temperature influences on uptake and assimilation of nitrogen by rice**. Turrialba, v. 34, p. 9-18, 1984.

GHOSH, A.; ANAND, K. G. V.; SETH, A. Life cycle impact assessment of seaweed based biostimulant production from onshore cultivated Kappaphycus alvarezii (Doty) doty ex silva—Is it environmentally sustainable? **Algal Res**., v. 12, p. 513–521, 2015.

MIRANDA, K.; ESPEY, M. G.; WINK, D. A. A rapid, simple spectrophotometric method for simultaneous detection of nitrate and nitrite. Nitric oxide: biology and chemistry. **Official journal of the Nitric Oxide Society** v. 5, p. 62–71, 2001.

VAGHELA, P.; TRIVEDI, K.; ANAND, K. G. V.; BRAHMBHATT, H.; NAYAK, J.; KHANDHEDIYA, K.; PRASAD, K.; MORADIYA, K.; KUBAVAT, D.; KONWAR, L.J.; VEERAGURUNATHAN, V.; GRACE, P. G.; GHOSH, A. **Scientific basis for the use of minimally processed homogenates of *Kappaphycus alvarezii* (red) and *Sargassum wightii* (brown) seaweed,** 2023.

YUNUS, M. U., SILAS, K., YAUMI, A. L. , & KWAJI, B. H. . (2023). Development of Biofertilizer from Locally Sourced Materials. **Indonesian Journal of Innovation and Applied Sciences (IJIAS)**, 3(1),51-60.https://doi.org/10.47540/ijias. v. 3, n1, 2023.

CAPÍTULO 54

PARÂMETROS ECOTOXICOLÓGICOS DE MILHO (*ZEA MAYS*) COM CONCENTRAÇÕES DE CASCALHO DE POÇOS DE PETRÓLEO DO PRÉ-SAL

Data de aceite: 01/04/2024

Sandra Santana de Lima
Pesquisadora PNPD/CAPES (UFRRJ)

Petrus Gabriel de Freitas Marques
Graduando em Agronomia (UFRRJ)

Ingryd Cardoso Estaky Cabral
Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental (UFRRJ)

Daniel de Paula Andrade
Graduando em Agronomia (UFRRJ)

Heraldo Namorato de Souza
Pesquisador do CENPES/PETROBRAS

Júlia Carina Niemeye
Professora do Departamento de Ecologia (UFSC)

Everaldo Zonta
Professor Titular do Departamento de Solos (UFRRJ)

RESUMO: A grande produção de petróleo *offshore* no Brasil tem gerado resíduos da perfuração como o cascalho, que precisa ter um destino correto. Neste sentido, o presente estudo objetivou avaliar a influência de diferentes doses de cascalho do pré-sal sobre a altura e a área foliar de plantas de milho a partir de ensaios de ecotoxicidade. O estudo foi realizado em ambiente controlado no Laboratório de Solo e Planta (LSP) do Instituto de Agronomia da UFRRJ. O ensaio foi realizado de acordo com a Norma ABNT NBR ISSO 11269-2-2014. Foram testadas doses crescentes de cascalho do pré-sal: 0,0625%; 0,125%; 0,25%; 0,5%; 1% e 2,5% e um tratamento controle. Cada dose de cascalho com quatro repetições (vasos) e o controle com oito repetições. Foram utilizadas as sementes de milho *(Zea mays*) *Sol*-da-manhã NF, BRS 4157. Os dados foram testados quanto a normalidade e homocedasticidade e posteriormente submetidos ao teste ANOVA seguido do teste de Dunnet ($p<0,05$). As médias provenientes do ensaio com cascalho mostram uma variação crescente entre o controle e a maioria das concentrações de cascalhos, adicionadas ao solo artificial para ambos os parâmetros avaliados. A adição de crescentes dose de cascalho não afetou a altura das plantas. A análise da área foliar respondeu positivamente a adição do cascalho, com o aumento da área, de acordo com o aumento da dose de cascalho.

PALAVRAS-CHAVE: área foliar, cascalho de perfuração *offshore*, ensaios de ecotoxicidade, parâmetros vegetativos.

ECOTOXICOLOGICAL PARAMETERS OF CORN (ZEA MAYS) WITH DRILLING CUTTINGS CONCENTRATIONS FROM PRE-SAL PETROLEUM

ABSTRACT: The large production of offshore petroleum in Brazil has generated drilling waste such as drilling cuttings, which needs to be disposed correctly. Linked to this, the present study evaluated the influence of different doses of pre-salt drilling cuttings on the height and leaf area of corn plants based on ecotoxicity tests. The study was carried out in a controlled environment in Laboratório de Solo e Planta (LSP) from the Agronomy Institute of UFRRJ. The test was made according with ABNT NBR ISO 11269-2-2014. Increasing doses of pre-salt drilling cuttings were tested: 0.0625%; 0.125%; 0.25%; 0.5%; 1% and 2.5% and a control treatment. Each dose of drilling cuttings with four replications (pots) and the control with eight replications. Corn seeds (*Zea mays*) Sol-da-manhã NF, BRS 4157 were used. The data were tested for normality and homoscedasticity and subsequently subjected to the ANOVA test followed by the Dunnet test ($p<0.05$). The averages from the gravel test show an increasing variation between the control and the majority of drilling cuttings concentrations added to the artificial soil for both parameters evaluated. The addition of increasing gravel doses did not affect plant height. The leaf area analysis responded positively to the addition of drilling cuttings, with an increase in area, in accordance with the increase in the dose of drilling cuttings.

KEYWORDS: ecotoxicity tests, leaf area, offshore drilling cuttings, vegetative parameters

INTRODUÇÃO

No cenário mundial, a descoberta do pré-sal está entre as mais importantes. Com a produção de petróleo *offshore* em águas ultraprofundas, o Brasil tem uma posição estratégica frente à grande demanda mundial. A produção dos poços do pré-sal, no terceiro trimestre de 2022 foi de 1,94 milhão de barris de óleo equivalente, representando 73% da produção total da empresa (PETROBRAS, 2022). Para 2023 a meta de produção de petróleo da Petrobras era de 2,1 milhão de barris por dia em 2023, com variação de 4% para mais ou para menos. Recentemente a empresa divulgou que bateu o recorde trimestral de produção operada de óleo e gás no terceiro trimestre deste ano. As plataformas operadas pela estatal atingiram a marca de 3,98 milhões de barris de óleo equivalente, 7,8% acima do segundo trimestre (AGÊNCIA BRASIL, 2023).

A crescente e expressiva produção, resulta no consequente aumento da produção de resíduos, como os fluidos e os cascalhos da perfuração. O cascalho consiste em uma mistura de pequenos fragmentos de rochas aderidos ao fluido usado para lubrificar e resfriar a broca durante a perfuração (FIALHO, 2012). Aderido ao cascalho estão contaminantes, os quais dependem da composição da formação rochosa, assim como, da composição química utilizada no fluído de perfuração (FIALHO, 2012; ALMEIDA, 2016; BANDEIRA, 2019).

Os resíduos gerados dessa produção tem sido motivo de preocupação, no sentido de dar um destino correto. Deve-se considerar que a extração de material sólido inerte de um ecossistema estabilizado e o transporte para outro local requer ações específicas

objetivando impedir a ocorrência de perdas tanto ambientais quanto econômicas e sociais (SILVA et al., 2019). Logo o destino final dos resíduos vai depender da sua constituição, considerando a melhor forma de gerenciar e utilizar para outros fins de forma sustentável.

Diante disso, a empresa tem destinado recursos financeiros a instituições, objetivando buscar soluções viáveis para a destinação dos resíduos provenientes da perfuração de poços, como o projeto aprovado pela equipe da UFRRJ em parceria com outras instituições e várias especialidades, sob o título "Uso de cascalho de perfuração e fontes de matéria orgânica na produção de adubo organomineral para o cultivo de oleaginosas, espécies florestais e na recuperação de áreas degradadas: aspectos químicos e biológicos". Neste sentido, o presente estudo equivale a uma das etapas do projeto, que objetivou avaliar a influência de diferentes doses de cascalho do pré-sal, sobre a altura e área foliar de plantas de milho por meio de ensaios ecotoxicológicos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em ambiente controlado no Laboratório de Solo e Planta (LSP) do Instituto de Agronomia da UFRRJ. O ensaio foi realizado de acordo com a Norma ABNT NBR ISSO 11269-2-2014, que trata da Qualidade do solo - Parte 2: Efeitos do solo contaminado na emergência e no crescimento inicial de vegetais superiores. Foram testadas doses crescentes de cascalho proveniente do poço 9-MLL-83-RJS, caracterizado como cascalho do pré-sal. As doses foram 0,0625%; 0,125%; 0,25%; 0,5%; 1% e 2,5% de cascalho e um tratamento controle. O ensaio foi realizado a partir de um solo artificial (SAT), e o qual foi preparado de acordo com as proporções recomendadas pela Norma, sendo: 75% de areia lavada; 20% de caulim e 5% de pó de fibra de coco. As proporções foram homogeneizadas dois dias antes da utilização, como a determinação da Norma.

Para a montagem do experimento foram pesados 700 g de SAT para cada vaso. Posteriormente, foram adicionadas as doses de cascalhos, realizada a homogeneização em potes de vidros e novamente alocados nos respectivos vasos. A seguir foi feito a rega com 84 mL de água destilada, que corresponde a 50% da capacidade de campo para posterior semeadura, a qual foram adicionadas cinco sementes e após a emergência das sementes, cerca de 8 a 10 dias foi realizado o desbaste, deixando três plantas por vaso. Sendo cada dose de cascalho com quatro repetições (vasos) e o controle com oito repetições. Foram utilizadas sementes de milho (*Zea mays*) *Sol*-da-manhã NF, BRS 4157.

A condução do ensaio foi em ambiente controlado, na câmara de crescimento (Fitotron) do departamento de Solos da UFRRJ. Diariamente os vasos foram pesados e posteriormente, realizadas regas manuais, objetivando manter 50% da capacidade de campo. As plantas foram avaliadas 14 dias após a emergência de 50% das sementes do controle. A altura da planta foi determinada na altura da bainha da primeira folha completamente expandida. A área foliar foi determinada por meio do equipamento "Area Meter", modelo LICOR LI-3000.

Na análise dos dados inicialmente foram testadas a normalidade e homocedasticidade das variâncias, pelos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados atenderam aos pressupostos da ANOVA, e foram submetidos ao teste de Dunnet ($p<0,05$), sendo realizada a comparação entre o desempenho de cada tratamento (doses) com controle.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que se refere a média da altura das plantas de milho sob solo artificial com controle e adicionadas doses crescentes de cascalho do pré-sal, não foram observadas diferenças entre o controle e as doses (Figura 1). Apesar de não diferir, pode-se verificar um leve aumento da altura, nas doses (0,125%, 0,25%, 0,5% e 2,5%).

Neste sentido, pode-se inferir que as crescentes doses de cascalho não promoveram alterações significativa no desenvolvimento das plantas de milho. Os resultados observados neste estudo, referente a altura das plantas, corroboram os observados por MARTINS (2022), que testou diferentes doses de cascalho do pré-sal que relata não ocorrer no cultivo de alface (*L. sativa*) e também não verificou alterações significativas.

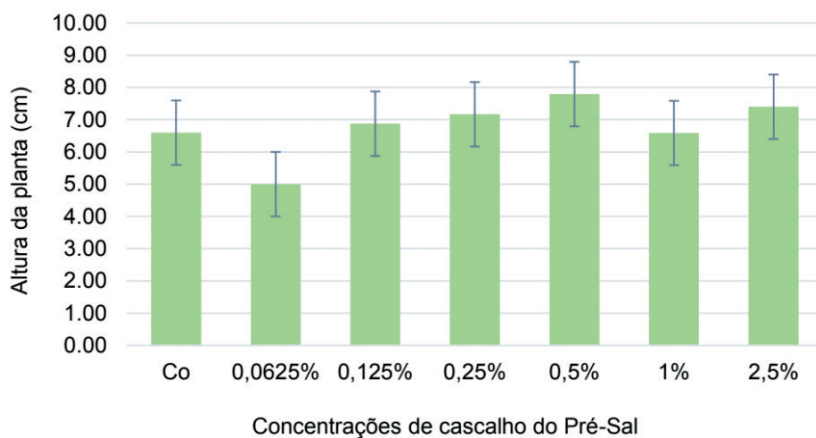



Figura 1: Altura da planta (média ± desvio padrão) de plantas de milho sob diferentes concentrações de cascalho de poços do pré-sal, em solo artificial tropical. Co – controle. Os asteriscos (*) indicam diferença ($p<0,05$) em relação ao controle, de acordo com o teste de Dunnett ($p<0,05$).

As médias provenientes do ensaio com cascalho do pré-sal, mostram uma variação crescente entre o controle e a maioria das concentrações de cascalhos adicionadas ao solo artificial. A partir do teste de comparação estatística foram observadas alterações significativas ($p<0,05$) entre o controle e as concentrações 0,25%, 0,5%, 1% e 2,5%, as quais foram quantificados maiores valores da área foliar. Por outro lado, a menor média foi observada na concentração 0,0625% (Figura 2).

A área foliar não é um parâmetro comumente avaliado nos ensaios ecotoxicológicos, porém, consiste em um parâmetro a ser considerando, visto que é amplamente utilizado em estudos com plantas. Para SILVA et al. (2011) a área foliar representa uma variável de crescimento reconhecida pela sua importância como indicativo da produtividade da planta, e induzido pelo aumento na concentração de gás carbônico, também como estratégia para otimizar a captura e aumentar a eficiência da fotossíntese (SCHMILDT et al., 2023).

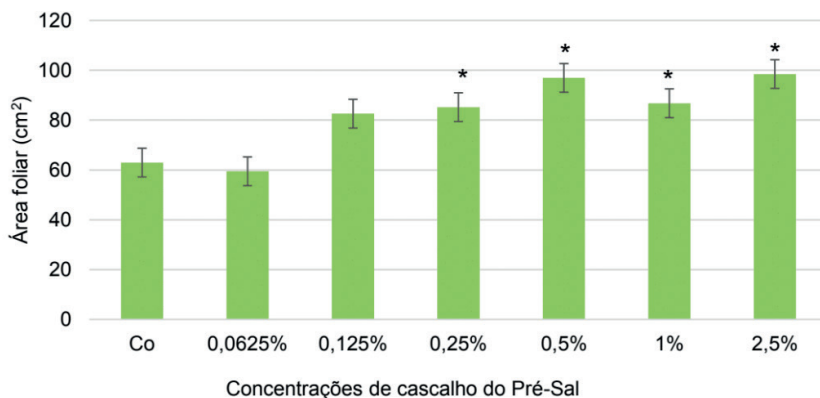



Figura 2: Área foliar (média ± desvio padrão) de plantas de milho sob diferentes concentrações de cascalho de poços do pré-sal, em solo artificial tropical. Co – controle. Os asteriscos (*) indicam diferença ($p<0,05$) em relação ao controle, de acordo com o teste de Dunnett ($p<0,05$).

Diante do exposto, presente estudo demostra a importância da avaliar a área foliar uma vez que mostrou alterações na planta em virtude da adição de cascalho. Adicionalmente, esse parâmetro mostra que a adição de cascalho resultou em um ganho de biomassa das plantas de milho, indicando um resultado positivo relacionado ao objetivo do projeto que estuda o potencial uso do cascalho para a formulação de um adubo organomineral.

CONCLUSÕES

A adição de crescentes doses de cascalho não influenciou na altura das plantas.

A análise da área foliar respondeu positivamente a adição do cascalho, com o aumento da área, de acordo com o aumento da dose de cascalho, fato que pode indicar que o cascalho tem potencial para a formulação de adubo organomineral.

A avaliação da área foliar pode ser considerada um importante parâmetro nos ensaios ecotoxicológicos com cascalho de poços de petróleo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); da Petrobras e do Programa de Pós-graduação em Agronomia -Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (PPGA-CS/UFRRJ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISSO 11269-2. Qualidade do solo — Determinação dos efeitos de poluentes na flora terrestre Parte 2: Efeitos do solo contaminado na emergência e no crescimento inicial de vegetais superiores. 2014.

Agência Brasil - Rio de Janeiro. **Petrobras tem produção operada de óleo e gás recorde no 3º trimestre.** Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/. Acesso em 03 nov. 2023.

ALMEIDA, P.C. de. **Análise técnico-ambiental de cascalho de perfuração offshore**. 2016. 173 p. Dissertação – (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

BANDEIRA, R.A.F. **Uso de cascalho de perfuração de poços de petróleo na confecção de CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente)**. 2019. 90 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FIALHO, P. F. **Cascalho de perfuração de poços de petróleo e gás. Estudo do potencial de aplicação em concreto**. 2012. 217 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo – Centro Tecnológico.

MARTINS, A.G.M. **Reuso de cascalho de perfuração de poços de petróleo offshore para produção de adubo organomineral: aspectos ecotoxicológicos do cascalho pós-sal.** 2022. 49 p. Monografia (Graduando em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, *Campus* Curitibanos.

PETROBRAS - **Relatório de produção e vendas. 3° Trimestre de 2022.** Disponível em: https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/25fdf098-34f5-4608-b7fa17d60b2de47d/c9c15dfb-7e20-620c-e82b-e37a7e7ead9b?origin=2. Acesso em 12 nov. 2022.

SCHMILDT, E.R.; OLIVEIRA, V. DE S.; DOUSSEAU-ARANTES, S. **Modelagem da área foliar individual**. 1. ed. São José dos Pinhais, PR: Brazilian Journals, 2023. 215p.

SILVA, W.Z. **Métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 7, n. 13, p. 746- 759, 2011.

SILVA, N.C. et al. O conceito lean green utilizado na proposta de reciclagem de cascalho de perfuração de poços de petróleo e gás. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**. v. 2, n. 4, p. 1389-140, 2019.

CAPÍTULO 55

CARBONO DO SOLO E EM AGREGADOS SOB PLANTIOS DE CAFÉ SOMBREADOS E A PLENO SOL NO PLANALTO DA CONQUISTA, BAHIA

Data de aceite: 01/04/2024

Talita Oliveira dos Santos
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (UESB)

Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia
Professora do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos (UESB)

Paulo Henrique Marques Monroe
Pós-Doc do Programa de Ciências Florestais (UESB)

Kyegla Beatriz da Silva Martins
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (UFLA)

Eryca Porto de Oliveira Sales
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais (UESB)

Daniela lima de Oliveira Matos
Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais (UESB)

RESUMO: Com o presente estudo objetivou-se determinar os teores de carbono orgânico (CO) em agregados do solo sob influência de sistemas agroflorestais e monocultivo de café, utilizando um fragmento de floresta nativa como referência. As áreas estudadas (tratamentos) estão localizadas na região do Planalto da Conquista, especificamente no município de Barra do Choça, Bahia. O delineamento experimental adotado foi o DIC com quatro parcelas para cada tratamento, totalizando dezesseis unidades amostrais. Em cada parcela foi coletado um monólito com dimensão de 10 cm3 com auxílio de um gabarito e uma pá, na camada de 0-10 cm de solo. Em seguida os monólitos foram fracionados em campo, com auxílio de jogo de peneiras, em quatro classes de tamanho de macroagregados: >6, 6-4, 4-2 e <2 mm. Os teores de carbono orgânico do solo (COS) foram determinados em cada uma das classes de macroagregados através da oxidação úmida do carbono por dicromato de potássio em meio ácido. O sistema agroflorestal de café sombreado com grevílea foi o único que manteve os teores de COS semelhantes à floresta nativa. Não houve efeito das classes de tamanho de macroagregados sobre os teores de COS.

PALAVRAS-CHAVE: fracionamento, macroagregados, matéria orgânica, serapilheira

SOIL CARBON AND AGGREGATES UNDER SHADED AND FULL SUN COFFEE PLANTATIONS ON THE PLANALTO DA CONQUISTA, BAHIA

ABSTRACT: The present study aimed to determine the organic carbon (CO) content in soil aggregates under the influence of agroforestry systems and coffee monoculture, using a fragment of native forest as a reference. The areas studied (treatments) are located in the Planalto da Conquista region, specifically in the municipality of Barra do Choça, Bahia. The experimental design adopted was the DIC with four plots for each treatment, totaling sixteen sampling units. In each plot, a monolith measuring 10 cm3 was collected using a template and a shovel, in the 0-10 cm layer of soil. The monoliths were then fractionated in the field, using a set of sieves, into four macroaggregate size classes: >6, 6-4, 4-2 and <2 mm. Soil organic carbon (SOC) contents were determined in each of the classes of macroaggregates through wet oxidation of carbon by potassium dichromate in an acidic medium. The shaded coffee agroforestry system with grevílea was the only one that maintained COS levels similar to the native forest. There was no effect of macroaggregate size classes on COS contents.
KEYWORDS: fractionation, macroaggregates, litter, organic matter.

INTRODUÇÃO

O solo estoca mais carbono (C) do que os reservatórios de C atmosférico e da vegetação somados e desempenha um papel crucial na produção agrícola e na atenuação dos impactos das mudanças climáticas (FOLEY et al., 2011; JANSSON;HOFMOCKEL, 2020). Quando comparados aos sistemas de cultivo convencionais, os sistemas agroflorestais (SAF) proporcionam maior cobertura do solo, favorecem a preservação da fauna e da flora, promovem a ciclagem de nutrientes e propiciam um aporte constante de matéria orgânica (MAIA et al., 2006).

Os SAFs podem ser eficientes sequestradores de C em regiões de clima tropical, tanto pela alta produtividade de biomassa quanto pelo significativo aumento dos estoques de carbono no solo (FROUFE et al., 2011). O carbono orgânico do solo (COS) é um importante indicador de qualidade e de sustentabilidade dos sistemas florestais, agrícolas e nativos (IWATA, 2010). Diversos estudos relataram a agrossilvicultura como uma estratégia com potencial para melhorar o fornecimento de COS através da poda de galhos, renovação de raízes, exsudatos e da serapilheira acumulada (MONTAGNINI; NAIR, 2004; OELBERMANN et al., 2006; KHALID et al., 2007; CHEN et al., 2017; GUO et al., 2018), resultando em melhoria da qualidade do solo (MATOS et al., 2020).

A matéria orgânica (MO) é considerada um dos principais fatores de agregação (TISDALL;OADES, 1982; ZEYTIN;BARAN, 2003), em contrapartida, a agregação do solo contribui com a estabilização da MO através da proteção física dentro dos agregados (ADU; OADES, 1978; BALABANE; PLANTE, 2004).

Com o presente estudo objetivou-se determinar os teores de carbono orgânico (CO) em agregados do solo sob influência de sistemas agroflorestais e monocultivo de café, utilizando um fragmento de floresta nativa como referência.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nas fazendas Vidigal e Viçosa, localizadas no município de Barra do Choça - BA, coordenadas 14°54'46" S e 40°36'39" W, altitude de 866m. Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é de tipo tropical de altitude (Cwb). Os tratamentos consistiram em um SAF de Café com grevílea (CG), um SAF de Café com Cedro (CC), um Monocultivo de Café (CM) e um fragmento de Floresta Nativa (FN).

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado com quatro parcelas por tratamento, totalizando dezesseis unidades amostrais. Foi realizada em campo a coleta de um monólito de solo (0,1 × 0,1 × 0,1 m) por parcela, posteriormente os monólitos foram fracionados manualmente, com umidade de campo, em quatro classes de tamanho de macroagregados: >6 mm, 6-4 mm, 4-2 mm e <2 mm. Por fim, foi realizada análise laboratorial para determinar os teores de COS nas classes de macroagregados pelo método de oxidação úmida adaptado por YEOMENS;BREMNER (1988), que utiliza o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido como agente oxidante.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (LILLIEFORS) e homogeneidade (COCHRAN;BARTLETT). Posteriormente, foi feito um teste de médias (Teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade) em esquema fatorial 4 × 4 para avaliar o efeito dos sistemas e das classes de tamanho de macroagregados, utilizando o software StatSoft Statistica® version 12.0 (STATSOFT, 1974-2009) e SigmaPlot version 14.0 (SYSTAT, 2010) para construção dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise de variância dos dados (Tabela 1) verifica-se que houve efeito dos sistemas de cultivo de café nos teores de carbono orgânico do solo (COS), mas não foi observado efeito da interação SIS × CLA e do efeito isolado das classes de agregados.

EFEITO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	p
SISTEMA	3	2,127	0,709	37,60	0,0001*
CLASSES	3	0,076	0,025	1,34	0,272NS
SISTEMA X CLASSES	9	0,183	0,020	1,08	0,394NS
ERRO	48	0,905	0,019	-	-

Tabela 1: Quadro de análise de variância dos dados. * significativo à 5 % de probabilidade.

Na área de CG verificou-se maior teor de COS em comparação ao CM, que por sua vez foi superior ao CC (Figura 1). Apenas na área CG foi observada a manutenção dos teores de COS em comparação à FN, que apresentaram em média 88,3 e 83,3 g kg^{-1}, respectivamente. Isso pode ser explicado por um maior acúmulo de serapilheira em CG. Em trabalho realizado por BASTOS et al. (2023) nessas mesmas áreas, os autores constataram maior acúmulo de serapilheira total nesse sistema de produção de café em comparação ao CM e ao CC, favorecendo dessa forma o incremento de COS.

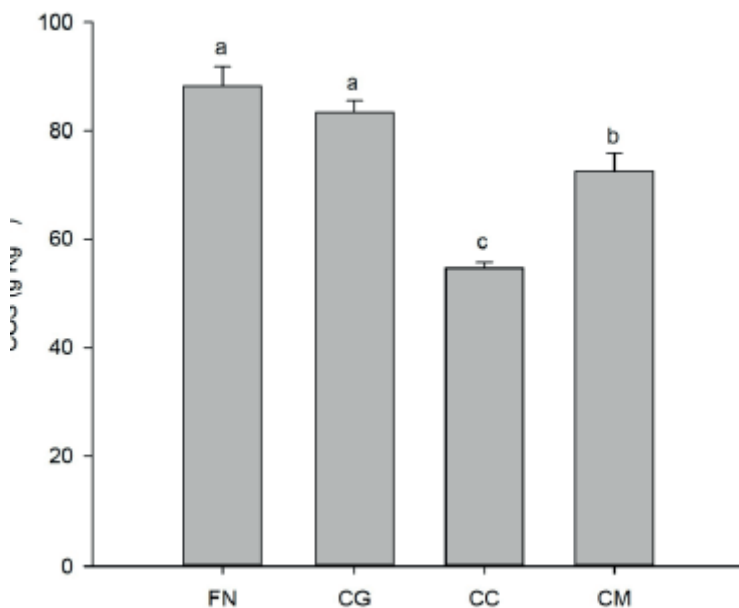



Figura 1: Teores de carbono orgânico do solo em sistemas de produção de café e floresta nativa em Barra do Choça, Bahia. FN – Floresta Nativa; CG – Sistema Agroflorestal de Café + Grevílea; CC – Sistema Agroflorestal de Café + Cedro australiano; CM – Monocultivo de Café. Letras minúsculas diferenciam o COS entre os sistemas pelo teste LSD de Fisher a 5% de probabilidade.

Como as árvores de cedro são dispostas com espaçamento entre linhas de 18 metros, neste tratamento, o efeito do componente arbóreo sobre o solo é atenuado, tornando o CC mais próximo das condições de monocultura. Outra possível explicação poderia estar relacionada a baixa capacidade de acúmulo de serapilheira e a composição química dos resíduos depositados pelo cedro, que são ricos em compostos fenólicos (TANDON;SAND, 2016).

O maior incremento de COS no CM quando comparado ao CC pode ser explicado por uma maior deposição de folhas do cafeeiro, favorecida pelo microclima seco proporcionado pelo cultivo a pleno sol. As plantas de café, que estão em maior densidade no CM do que no CC, aumentam a deciduidade de folhas para diminuir a respiração (MOREIRA, 2003).

Neste estudo foi verificada a redução de 17,7 % de COS na área de mata quando esta foi substituída pelo CM e uma redução de 38,1 % quando substituída pelo CC.

CONCLUSÃO

Os sistemas agroflorestais de café consorciados com grevílea aumentam os teores de COS comparado ao sistema agroflorestais de café com cedro e o monocultivo de café, mantendo os teores semelhantes aos observados na área de floresta nativa.

O maior espaçamento do sistema agroflorestal de café com cedro, bem como a menor produção de resíduos vegetais pelo componente arbóreo proporcionam um menor teor de COS ao solo quando comparado ao monocultivo de café, que possui características de deciduidade, aumentando o teor deste elemento no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADU, J. K.; OADES, J. M. Physical factor influencing decomposition of organic materials in soils aggregates. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 10, p. 109 – 115, 1978.

BALABANE, M.; PLANTE, A. F. Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. **European Journal of Soil Science**, v. 55, n. 2, p. 415 – 427, 2004.

BASTOS, T. R. S., et al. Response of soil microbial biomass and enzyme activity in Coffee-based agroforestry systems in a high-altitude tropical climate region of Brazil. **Catena**, v. 230, 107270, 2023.

CHEN, C., et al. Effects of rubber-based agroforestry systems on soil aggregation and associated soil organic carbon: Implications for land use. **Geoderma**, v. 299, p. 13 - 24, 2017.

FOLEY, J. A., et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337 – 342, 2011.

FROUFE, L. C. M., et al. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono de áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 143 - 154, 2011.

GUO, J., et al. Vertical and seasonal variations of soil carbon pools in ginkgo Agroforestry systems in eastern China. **Catena**, v. 171, p. 450 – 459, 2018.

IWATA, B. F. **Dinâmica da matéria orgânica em argissolo vermelho amarelo sob sistemas agroflorestais no cerrado piauiense.** 2010. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Piauí. Teresinha, 2010.

JANSSON, J. K.; HOFMOCKEL, K. S. Soil microbiomes and climate change. **Nature Reviews Microbiology**, v. 18, p. 35 – 46, 2020.

KHALID, M., et al. Grassland plants affect dissolved organic carbon and nitrogen dynamics in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 1, p. 378 - 381, 2007.

MAIA, S. M. F., et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 837 - 848, 2006.

MATOS, P. S., et al. Ligações entre propriedades do solo e qualidade da serapilheira em sistemas agroflorestais do Sudeste do Brasil. **Sustentabilidade**, v. 12, n. 22, 9752, 2020.

MONTAGNINI, F; NAIR, P. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. In: NAIR, P.; RAO, M.; BUCK, L. (editors). **Advances in Agroforestry.** Editora: Springer; 2004. pág. 281-95.

MOREIRA, C. F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais**. 2003. 78p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Ecologia de Agroecossistemas, Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Piracicaba, 2003.

OELBERMANN, M., et al. Soil carbon and nitrogen dynamics using stable isotopes in 19- and 10-year-old tropical agroforestry systems. **Geoderma,** v. 130, p. 356 - 367, 2006.

STATSOFT, I. N. C., 1974-2009. Estatistica for Windows (Software-System for DataAnalys). Version 12.0, Tulsa, USA.

TANDON, S.; SAND, N. K. Qualitative analysis of phenolic constituents from leaves of some plants of family meliaceae. **International journal of medicinal plants and natural products**, India, v. 2, n. 1, p. 27 – 30, 2016.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141 – 163, 1982.

ZEYTIN, S.; BARAN, A. Influences of composted hazelnut husk on some physical properties of soils. **Bioresource Technology**, v. 88, p. 241 – 244, 2003.

Como a ciência do solo está contribuindo para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável na América Latina e Europa?

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2024

Realização:

Apoio: